

Severi Jauhiainen

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ- SUUNNITTELU SANEERAUSKOHTEISSA

Opinnäytetyö
Talotekniikka

Tammikuu 2017




Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

KUVAILULEHTI

 <p>Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 3.1.2017	
Tekijä(t) Severi Jauhiainen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka	
Nimeke Lämmitysjärjestelmäsunnittelu saneerauskohteissa			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa aineisto helpottamaan linjasaneerauskohteiden lämmitysjärjestelmäsunnittelua. Opinnäytetyössä keskityttiin lähinnä 1900-1960-luvuilla rakennettuihin asuinkerrostaloihin ja lämmitysjärjestelmäsunnitteluun sekä sen tuomiin haasteisiin tällä ajanjaksolla rakennetuissa linjasaneerauskohteissa. Työn tilaajana toimi helsinkiläinen LVI-suunnittelutoimisto Tubular Oy.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin lähinnä 1900-1960-luvuilla rakennettujen asuinkerrostalojen rakennusmateriaaleja ja -osia sekä niiden lämmönläpäisyominaisuuksia. Työssä käsiteltiin linjasaneerausprojektin etenemistä yleisesti sekä tarkemmin lämmitysjärjestelmäsunnittelun näkökulmasta. Opinnäytetyön lähteinä käytettiin useita aihetta koskevia tutkimuksia ja kirjallisia teoksia sekä kokeneempien suunnittelijoiden kokemuspohjaista taitotietoa.</p> <p>Opinnäytetyötä tehdessä selvisi, että lämpöhäviöitä on jo 1900-luvun alussa osattu laskea ainakin suuntaa antavasti. Kuitenkin kun huomioon otetaan nykytietämys vuoto- ja korvausilman vaatimasta lämmitystehontarpeen määrästä, voidaan todeta, että vanhojen kerrostalojen radiaattoreiden lämmönluvutuskkyky on liian alhainen rakennuksen todelliseen lämmitystehontarpeeseen verrattuna.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena voitiin todeta, että vanhojen asuinkerrostalojen energiatehokkuutta voidaan parantaa monilla tavoin. Ikkunoiden uusiminen tai kunnostaminen tai rakennuksen yläpohjan lisäeristäminen ovat helppoja keinoja vanhan asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantamiseksi. Rakennustekniset muutokset energiatehokkuuden parantamiseksi ovat pitkällä tähtäimellä järkevämpiä ratkaisuja, kuin lämmitystehon kasvattaminen rakennuksessa. Opinnäytetyön tuloksena tuotettiin aineisto, jonka avulla työn toimeksiantajan linjasaneeraus suunnittelukohteissa lämmitysjärjestelmien saneeraus suunnittelu helpottuu ja nopeutuu.</p>			
Asiasanat (avainsanat) lämmitysjärjestelmäsunnittelu, lvi-suunnittelu, linjasaneeraus, saneeraus			
Sivumäärä 40+9	Kieli suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Jarmo Tuunanen		Opinnäytetyön toimeksiantaja Tubular Oy	

DESCRIPTION

 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu		Date of the bachelor's thesis 3.1.2017	
Author(s) Severi Jauhiainen		Degree programme and option Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Heating System Planning in Urban Renewal Projects			
Abstract <p>The goal of this thesis was to produce a material to ease the planning of heating systems in an urban renewal projects. Thesis focused on apartment buildings built around 1900's to 1960's and heating system planning and it's challenges in apartment buildings build during this period of time. This bachelor's thesis was assigned by Tubular Oy.</p> <p>This thesis researched building materials and parts and their thermal transmittance characteristics in apartment buildings built mainly around 1900's to 1960's. This thesis dealt also with progress of HVAC renovation project and especially the part of heating system planning. Lots of researches and literature regarding this subject and the knowhow of more experienced HVAC engineers was used as a source of this thesis.</p> <p>During the research it became clear that engineers in the beginning of 1900's have at least approximately known how to calculate heat losses. Anyhow, when you took notice current knowledge of heating power demand of leakage and replacement air, could be stated that old apartment buildings' radiators' heating ability is too low regarding the buildings actual heating power demand.</p> <p>As a result of this thesis could be stated that old apartment buildings' energy efficiency can be improved in many ways. Renewing or renovating windows or adding additional insulation to roof are easy ways to improve old apartment buildings' energy efficiency. These changes are also more reasonable than increasing heating power in the building. As a result of this thesis a material was produced that makes heating system planning easier and more efficient.</p>			
Subject headings, (keywords) heating system planning, hvac planning, hvac renovation, urban renewal			
Pages 40+9		Language Finnish	
URN			
Remarks, notes on appendices			
Tutor Jarmo Tuunanen		Bachelor's thesis assigned by Tubular Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	SANEERAUSPROJEKTI VANHOISSA ASUINKERROSTALOISSA	2
2.1	Vesijohdot ja viemärit.....	2
2.2	Lämmitysjärjestelmä ja lämpöjohdot	3
2.3	Saneerausprojektin eteneminen	4
2.3.1	Tarveselvitysvaihe	4
2.3.2	Hankesuunnittelu	5
2.3.3	Rakennussuunnittelu	5
2.3.4	Rakentamisen aikainen suunnittelu.....	6
2.4	Esimerkkikohde	6
2.4.1	Vesijohdot ja viemärit.....	7
2.4.2	Lämmitysjärjestelmä ja lämpöjohdot.....	8
2.4.3	Radiaattorit.....	9
2.4.4	Ikkunat	10
2.4.5	Osakaskysely.....	10
3	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄSUUNNITTELU.....	11
3.1	Rakennusfysiikka.....	12
3.1.1	Johtuminen.....	12
3.1.2	Konvektio.....	12
3.1.3	Säteily	12
3.2	Asuinkerrostalojen lämpöenergiankulutus	13
3.3	Lämmitysjärjestelmäsuunnittelun eteneminen	14
3.4	Normeeraus ja lämmitystarveluku	16
3.5	Vuotoilma	16
3.6	Korvausilma.....	17
3.7	Lämmönjakokeskuksen mitoitus	18
4	RAKENNUSMATERIAALIT JA -OSAT VANHOISSA ASUINKERROSTALOISSA.....	19
4.1	Runkotyypit	19
4.2	Ulkoseinärakenteet ja -materiaalit	20
4.3	Ala-, väli- ja yläpohjat	21
4.3.1	Alapohjat.....	21

4.3.2	Väli- ja yläpohjat.....	21
4.4	Ikkunat	22
4.5	Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo.....	23
4.6	Vanhojen asuinkerrostalojen rakennusmateriaalien ja -osien U-arvoja	24
4.6.1	Ulkoseinät	24
4.6.2	Alapohjat.....	26
4.6.3	Väli- ja yläpohjat.....	26
4.6.4	Ikkunat	27
5	TILAN LÄMMITYSTEHONTARPEEN LASKENTA.....	27
5.1	Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi.....	27
5.2	Vuoto- ja korvausilman aiheuttamat lämpöhäviöt.....	28
5.3	Esimerkkikohteen lämmönjakokeskuksen mitoitus	29
6	TULOKSET	32
6.1	Lämpöhäviöt	32
6.2	Vanhan asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantaminen	33
6.2.1	Ulkoseinät	33
6.2.2	Yläpohja.....	34
6.2.3	Ikkunat	34
6.2.4	Lämpöjohtoverkoston tasapainotus eli perussäätö.....	34
6.3	Excel-ohjelma lämmönjakokeskuksen mitoitukseen.....	35
6.4	Excel-ohjelma tilan lämpöhäviöiden arviointiin	35
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	36
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	
	1 Högforsin vanhoja radiaattorimalleja	
	2 Velco VT-100 -korvausilmaventtiilin virtauskaavio	
	3 Lämpöhäviövertailu	
	4 Lämpöhäviöiden laskentakalvo, Oras	
	5 Lämmönjakokeskuksen mitoitus, Excel-ohjelma	
	6 Tilan lämpöhäviöiden arviointi, Excel-ohjelma	

KÄYTETYT SYMBOLIT

A_i	tietyn rakennusosan pinta-ala (m^2)
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (m^2)
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, käytetään arvoa 1000 J/kgK
d	ainekerroksen paksuus (m)
H	lämmityshuipun käyttöaika tarkasteluaikana (h)
l_k	viivamaisen kylmäsillan pituus (m)
n_{50}	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pascalin paine-erolla (1/h)
n_v	vuotoilman vaihtuvuus, käytetään arvoa 0,2 1/h
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku 50 Pascalin paine-erolla (m^3/hm^2)
Q	energiankulutus tarkasteluaikana (MWh)
Q_{kv}	käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia tarkasteluaikana (MWh)
Q_l	lämmitykseen kulunut energia tarkasteluaikana (MWh)
$q_{v,korvausilma}$	korvausilmavirran määrä (m^3/s)
$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmanvirran määrä (m^3/s)
R	ainekerroksen lämmönvastus (m^2K/W)
R_n	rakennusosan ainekerroksen n lämmönvastus (m^2K/W)
R_{se}	ulkopuolen pintavastus (m^2K/W)
R_{si}	sisäpuolen pintavastus (m^2K/W)
R_T	rakennusosan kokonaislämmönvastus (m^2K/W)
S	paikkakunnan lämmitystarveluku tarkasteluaikana ($^{\circ}Cd$)
T_s	sisäilman lämpötila ($^{\circ}C$)
T_u	paikkakunnan mitoitusulkolämpötila ($^{\circ}C$)
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo (W/m^2K)
U_i	tietyn rakennusosan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo (W/m^2K)
V_i	rakennuksen ilmatilavuus (m^3)
V_r	rakennuksen rakennustilavuus (m^3)
λ_U	lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo (W/mK)
ρ_i	ilman tiheys, käytetään arvoa 1,2 kg/ m^3
$\phi_{alapohja}$	johtumislämpöhäviöt alapohjan läpi (W)
ϕ_i	tietyn ulkoilmaan rajoittuvan rakennusosan johtumislämpöhäviö (W)
ϕ_{ikkuna}	johtumislämpöhäviöt ikkunoiden läpi (W)
$\phi_{iv,korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (W)
$\phi_{iv,tuloilma}$	tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (W)

ϕ_{joht}	johtumislämpöhäviöt vaipan läpi (W)
$\phi_{\text{kylmäsiljat}}$	kylmäsiltojen johtumislämpöhäviöt (W)
ϕ_{mit}	lämmityksen huipputehontarve eli mitoitus-teho (kW)
ϕ_{muu}	johtumislämpöhäviö tilaan, joka poikkeaa ulkolämpötilasta (W)
ϕ_{ovi}	johtumislämpöhäviöt ulko-ovien läpi (W)
ϕ_{tila}	lämmitysenergian tarve tilassa (W)
$\phi_{\text{ulkoseinä}}$	johtumislämpöhäviöt ulkoseinän läpi (W)
$\phi_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (W)
$\phi_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöhäviöt yläpohjan läpi (W)
Ψ_k	viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi (W/mK)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa aineisto työn toimeksiantajan pyynnöstä helpottamaan linjasaneerauskohteiden lämmitysjärjestelmäsunnittelua. Työn toimeksiantajana toimii helsinkiläinen LVI-suunnittelutoimisto Tubular Oy. Yrityksen suunnittelukohteina on uudisrakennusten lisäksi useita linjasaneerauskohteita vuodessa. Yrityksen tyypillisimmät linjasaneerauskohteet ovat 1900–1960-luvuilla rakennettuja asuinkerrostaloja Helsingissä.

Opinnäytetyössä tutkittiin yleisesti vanhojen, lähinnä 1900–1960-luvuilla rakennettujen, asuinkerrostalojen rakennusmateriaaleja ja -osia sekä niiden lämmönläpäisyominaisuuksia. Työssä on käsitelty linjasaneerausprojektin etenemistä yleisesti sekä tarkemmin lämmitysjärjestelmäsunnittelun näkökulmasta. Työssä on kiinnitetty huomiota myös vanhojen asuinkerrostalojen energiatehokkuuteen sekä sen parantamiseen. Opinnäytetyön lähteinä on käytetty useita aihetta koskevia tutkimuksia ja kirjallisia teoksia sekä kokeneempien suunnittelijoiden kokemuspohjaista taitotietoa.

LVI-alan keskeinen tehtävä on rakennuksen käyttötarkoitusta vastaavan sisäilmaston luominen, johon lämmitys olennaisena osana kuuluu. Linjasaneerauskohteiden lämmitysjärjestelmäsunnitteluun haasteita luo suunniteltavien kohteiden erilaisuus. Rakennustavat ja -materiaalit ovat vuosien saatossa muuttuneet ja onnistuneiden suunnitelmien aikaansaamiseksi suunnittelijalla tulee olla riittävästi tuntemusta laajasta kirjosta rakennushistoriaa. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on antaa riittävät lähtökohdat eri aikakausina rakennettujen asuinkerrostalojen lämmitysjärjestelmäsunnitteluun.

Työn toimeksiantajana toimiva LVI-suunnittelutoimisto Tubular Oy käyttää suunnitteluohjelmanaan kotimaista CADS-suunnitteluohjelmaa, jota on myös tämän opinnäytetyön toteutuksessa käytetty. CADS-ohjelmalla on esimerkiksi tarkasteltu opinnäytetyön esimerkkikohteen lämpöhäviöominaisuuksia ja opinnäytetyön tuloksina syntyneitä Excel-ohjelmia on tarkoitettu käyttämään yhdessä kyseisen suunnitteluohjelman kanssa.

2 SANEERAUSPROJEKTI VANHOISSA ASUINKERROSTALOISSA

Korjausrakentaminen muodostuu vuosi vuodelta tärkeämmäksi osaksi rakennusalaan. Vuonna 2013 korjausrakentamisen määrä ohitti ensimmäistä kertaa uudisrakentamisen määrän Suomessa [1].

Sotien jälkeen 1940-luvulla Suomessa vallitsi vaikea asuntopula, joka pakotti rakentamaan uusia asuntoja kaupunkeihin ennennäkemättömällä volyymilla. Vielä 1940-luvulla valtaosa asunnoista rakennettiin maaseudulle, mutta 1950-luvun jälkipuoliskolla rakentamisessa alkoi näkyä suuri muuttoaalto maaseudulta kaupunkeihin, jolloin rakentamisen painopiste siirtyi asutuskeskuksiin ja kerrostalorakentamiseen. [2, s. 84.]

Näiden 1950-, 1960- ja myöskin 1970-luvulla rakennettujen kerrostalojen talotekninen käyttöikä alkaa loppua. Näiden lisäksi jo aiemmin, 1880–1940-luvuilla, rakennettujen kerrostalojen talotekniset järjestelmät alkavat olla jo toisen tai jopa kolmannen saneerauskierron tarpeessa.

2.1 Vesijohdot ja viemärit

Sveitsiläisen insinööri Robert Huberin ansiosta vesijohtojen asentaminen uusiin ja vanhoihin rakennuksiin alkoi Helsingissä vuonna 1876. Aluksi rakennuksiin tehtiin vain kylmävesijohto sekä viemäröinti. Aluksi kylmävesijohdot olivat sinkittyä teräsputkea. Sinkityn teräsputken lisäksi rakennuksen sisäpuolisina kylmävesijohtoina on käytetty erilaisia valurautaputkia. 1950-luvun loppupuolella kylmävesijohtoja alettiin tehdä myös kuparista, syrjäyttäen sinkityn teräsputken kylmävesijohtojen materiaalina 1970-luvulla. [3, s. 9-10, 14, 16-17.]

Suomessa ensimmäinen rakennuskohtainen lämminvesijohto valmistui vuonna 1890, kuitenkin yleistyen vasta 1930-luvulla [3, s. 19]. Lämminvesijohdot rakennettiin alusta asti pääasiassa kuparilla, ensin tuontitavarana ja 1940-luvulta lähtien kotimaisella kuparilla [3, s. 19]. Viemäreiden pääasiallisena materiaalina on alusta asti ollut valurauta [3, s. 24].

1970-luvulle asti vesijohdot ja viemärit tehtiin siis pääasiassa metallista. Muovia alettiin käyttää viemäreissä ja kylmävesijohdoissa 1970-luvulta lähtien, lämminvesijohdoissa

1990-luvulla. Metalliputket kestävät tavanomaisesti noin 30–50 vuotta ja nykyoletuksen mukaan muoviputkien uskotaan kestävän vähintään yhtä kauan. [4, s. 2.]

Viemäreiden ja vesijohtojen käyttöikä vaihtelee tapauksesta riippuen niin paljon, että niiden kunnon seuraaminen asennuksesta lähtien on välttämätöntä [4, s. 2]. Joissain olosuhteissa lämminvesijohdot ovat syöpyneet jopa neljässä vuodessa, kun taas tunnetaan myös yli 70 vuotta kestäneitä kylmävesijohtoja [4, s. 2]. Putkistossa virtaava happipitoinen vesi aiheuttaa pääasiassa vesijohtojen ja viemäreiden syöpymisen, eli sisäpuolisen korroosion [3, s. 33].

Ennen 1960-lukua rakennetuista asuinkerrostaloista harvemmin löytää kohdetta, joiden kylpyhuoneiden ja keittiöiden tilaratkaisut olisivat alkuperäisiä. Vielä 1950-luvulla esimerkiksi kylpyhuoneista rakennettiin nykyvaatimukseen verrattuna hyvin vaatimattomia, jonka vuoksi aikojen saatossa vanhempien asuinkerrostalojen huoneistojen kylpyhuoneita sekä myös keittiötiloja on laajennettu ja muokattu rajustikin.

2.2 Lämmitysjärjestelmä ja lämpöjohdot

Huonekohtainen uunilämmitys kaakeliuuneineen väistyi keskuslämmityksen yleistyttyä 1910-luvulla [2, s. 37]. Höyrylämmityskokeilujen jälkeen yleisimmäksi tavaksi rakennusten lämmittämiseksi vakiintui vesikeskuslämmitys [2, s. 37]. Veden kierto lämmitysjärjestelmän putkistossa tapahtui painovoimaisesti [2, s. 37]. Lisää painovoimaisesta vesikeskuslämmityksestä on kerrottu opinnäytetyön kohdassa 2.4.2.

Högfors aloitti valurautaradiaattoreiden valmistuksen Suomessa vuonna 1903 ja teräslevyradiaattoreiden 1920-luvulla [3, s. 12]. Högforsin eri radiaattorimallit, kuten Siro, Teho ja Kesto, lienevät yleisimpiä radiaattoreita, joita vanhoista suomalaisista asuinkerrostaloista löytyy. Näiden yleisimpien radiaattorimallien teknisiä tietoja on esitelty liitteessä 1.

Vanhoissa kerrostaloissa käytetyt alkuperäiset teräksiset lämmitysjärjestelmän lämpöjohtomateriaalit ovat seinämänpaksuudeltaan yleensä niin paksuja, ettei niiden tarkkaa käyttöikä ylärajaa edes tunneta, mikäli verkostoa hoidetaan oikein eikä ulkopuolinen korroosio tai putkiin kertyneen sakan aiheuttama piilokorroosio pääse niihin vaikuttamaan.

Mikäli lämmitysverkostoon joudutaan jostain syystä usein lisäämään vettä, kertoo se paitsi mahdollisesta vuodosta verkostossa, myös siitä, että verkostoon on päässyt happirikasta vettä putkistoa syövyttämään. Käyttövesiverkostossa ja viemäriässä virtaava happipitoinen vesi syövyttää näiden verkostojen putkia, mutta oikein toimiessaan suljetun lämmitysverkoston vedestä happi veden lisäämisen jälkeen korkean lämpötilan vaikutuksesta häviää eikä jää putkistoa syövyttämään [5]. Usein lämpöjohdot ja etenkin kerrosten väliset lämpöjohdot on vanhoissa asuinkerrostaloissa asennettu rakenteiden sisään, joten niiden purkaminen ja uusien lämpöjohtojen asentaminen olisi vaikea ja kallis projekti.

2.3 Saneerausprojektin eteneminen

Taloyhtiön LVI-tekniinen saneeraus, eli tuttavallisemmin putkiremontti, alkaa jo kauan ennen kuin talon asukkaat huomaavat rakennusmiesten saapuneen mylläämään paikat uuteen uskoon. Asuinkerrostalojen kohdalla puhutaan useimmiten linjasaneerauksesta – LVI-tekniset järjestelmät saneerataan nousulinja kerrallaan. Linjasaneeraus on ajankohtainen yleensä noin 50 vuoden ikäisille taloyhtiöille tai noin 50 vuoden kuluttua edellisestä putkiremontista. Vaikka linjasaneeraus onkin kallis ja vaivalloinen ponnistus taloyhtiölle ja sen asukkaille, se parantaa asumisviihtyvyyttä sekä nostaa asuntojen arvoa. Oikea-aikaisella linjasaneerauksella todennäköisesti myös estetään suurempia vahinkoja, kuten putkistojen luonnollisesta haurastumisesta johtuvia vesivahinkoja, tahtumasta. [6; 7.]

2.3.1 Tarveselvitysvaihe

Tarveselvitysvaiheessa selvitetään hankkeen tarpeellisuus sekä edellytykset ja mahdollisuudet sen toteuttamiseen [8, s. 303]. Tarveselvitysvaihe on usein kiinteistön kunnon seurannan tulosta. Asianmukaiseen kiinteistön kunnonseurantaan kuuluu kiinteistön pitkän tähtäimen kunnossapitosuunnitelma (PTS), johon kuuluu säännöllinen kuntoarvioiden teettäminen [4, s. 3]. Kiinteistön kuntoarviot tulisi päivittää noin viiden vuoden välein [4, s. 3]. Tarveselvitysvaiheessa kerättyjen aineistojen ja tulosten pohjalta tehdään päätös hankesuunnittelusta [8, s. 303].

Kuntotutkimus

Viimeistään tarveselvitysvaiheessa tulisi toteuttaa myös LVI-järjestelmien kuntotutkimus. Kuntotutkimuksessa LVI-järjestelmät, kuten vesi- ja lämpöjohdot sekä viemärit käydään perusteellisesti läpi muun muassa röntgenkuvien avulla [4, s. 3]. Kuntotutkimuksessa voidaan käyttää ainetta rikkovia menetelmiä, erotuksena kuntoarviosta, joka perustuu lähinnä aistienvaraiseen arviointiin [9, s. 2].

2.3.2 Hankesuunnittelu

Linjasaneerausprojekti lähtee toden teolla liikkeelle hankesuunnittelulla. Sen aikana tehdään remontin kannalta tärkeimmät selvitykset ja päätökset: mitkä tahot saneerauksen suorittaa, millä aikataululla, kuinka laajalti saneeraus suoritetaan ja kuinka paljon sen tulisi maksaa [6]. Linjasaneerauksen yhteydessä kannattaa, ja yleensä suoritetaan-kin, myös muita taloyhtiön remontteja, kuten märkätilasaneerauksia, yhteisten tilojen kunnostuksia sekä sähköverkon ja ilmanvaihdon korjauksia. Osakkaiden kannattaa ajoittaa esimerkiksi mahdolliset keittiöremontit myös linjasaneerauksen yhteyteen.

Huolellisella hankesuunnittelulla on tarkoitus vähentää rakentamisen aikana eteen tulevia yllätyksiä ja työstä aiheutuvia haittoja, edesauttaa kustannusarvion paikkansapitävyyttä ja sitä, että saneerauksen lopputulos vastaa osakkaiden tarpeita ja toiveita sekä helpottaa kiinteistön hallintaa tulevaisuudessa [4, s. 4]. Varsinainen investointipäätös tehdään hankesuunnitelman perusteella [8, s. 303].

2.3.3 Rakennussuunnittelu

Rakennussuunnittelu jakaantuu kahteen vaiheeseen: luonnossuunnitteluun sekä toteutussuunnitteluun [10]. Tilaaja, eli asuinkerrostalon linjasaneerausprojektissa useimmiten taloyhtiö, toimittaa suunnittelijoille suunnitteluaineiston, kuten vanhat piirustukset, tiedot aiemmista kiinteistössä suoritetuista muutostöistä sekä raportit kiinteistössä suoritetuista tutkimuksista, kuten putkiston kuntotutkimuksista ja tutkimuksista asbestiin liittyen. [4, s. 6].

Luonnossuunnittelu

Luonnossuunnitteluvaiheessa tärkeä osuus on myös niin sanotulla kiinteistökierroksella, jossa kohteeseen valitut suunnittelijat käyvät yhdessä taloyhtiön edustajien kanssa

kaikki taloyhtiön kiinteistön tilat läpi ja tekevät tarvittavat mittaukset, tutkimukset ja muistiinpanot. Luonnossuunnitteluvaiheen tuloksena valitaan ja määritellään lopullisesti kohteessa toteutettava suunnitteluratkaisu, käytetyt tekniset järjestelmät ja saneerauksen toteutustapa [11; 10].

Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheessa laaditaan hankintapiirustukset ja -asiakirjat, määritellään urakointitapa, laaditaan tarjouspyynnöt, tehdään rakentamispäätös ja solmitaan urakkasopimukset [10]. Yhä useammin hankinta-asiakirjoissa määritellään esimerkiksi käytettävien LVI-laitteiden suoritusarvot, käytettävissä oleva tila ja ulkonäköön liittyvät seikat, joiden perusteella urakoitsija tai tuoteosatoimittaja voi ehdottaa parhaiten soveltuvaa teknistä ratkaisua ja tuotetta [8, s. 306]. Toteutussuunnitteluvaiheen jälkeen alkaa rakentamisvaihe.

2.3.4 Rakentamisen aikainen suunnittelu

Saneerauskohteissa erityisen tärkeäksi muodostuu rakentamisen aikainen suunnittelu, erityisesti kohteissa, joissa alkuperäiset piirustukset joko eivät ole olleet saatavilla tai ne ovat olleet puutteelliset. Jo aiemmin mainituilla kiinteistökierroksen tutkimuksilla pyritään toki vähentämään rakentamisen aikana tulevia yllätyksiä suunnitteluun, mutta se harvemmin on täysin mahdollista. Rakentamisen aikaisessa suunnittelussa suunnittelija yhteistyössä urakoitsijan ja taloyhtiön kanssa täydentää suunnitelmia todellista tilannetta vastaavaksi [8, s. 307].

Rakentamisen aikaiseen suunnitteluun kuuluu usein myös asuntokohtainen suunnittelu. Arkkitehdin laatimat kehysratkaisut eivät aina kelpaa sellaisinaan kaikille asukkaille, jolloin suunnitelmia lähdetään muokkaamaan asukkaan toiveita vastaavaksi.

2.4 Esimerkkikohde

Opinnäytetyön tuloksia havainnoidaan esimerkkikohteen avulla. Esimerkkikohteena toimii vuonna 1927 valmistunut taloyhtiö Helsingin Etu-Töölössä (kuva 1) [12]. Seuraavassa joitain perustietoja kohteesta (taulukko 1) [13]:

TAULUKKO 1. Esimerkkikohteen tiedot [13]

valmistumisvuosi:	1927	rakennustilavuus:	16100 m ³
ilmatilavuus:	10293 m ³	vaipan pinta-ala:	3180 m ²
kerrosala:	3676 m ²	huoneistoala:	3459 m ²
kerroksia:	6+kellari+ullakko	asuinhuoneistoja:	70 kpl
ilmanvaihto:	painovoimainen	välipohjat:	alalaattapalkisto
kph:n seinät:	koksikuona	lämmönlähde:	kaukolämpö

Isännöitsijätodistuksen mukaan taloyhtiössä on tehty korjauksia ja tutkimuksia viime vuosina, kuten edellinen linjasaneeraus 1966–1967, lämmönjakokeskuksen uusiminen 2010, lämpö-, vesi-, ja viemäriputkien kuntotutkimusraportti 2014 ja ikkunoiden kuntoraportti 2014 [13].



KUVA 1. Opinnäytetyön esimerkkikohteenä toimii taloyhtiö Etu-Töölössä [12]

2.4.1 Vesijohdot ja viemärit

Asunnoissa on kylpyhuone- ja keittiötiloja laajennettu, saneerattu ja muutettu vuosien varrella niin, että lähes jokainen asunto on oma uniikki kohteensa. Tämä on saneerauskohteissa hyvin tyypillistä. Suurin osa huoneistojen kylmävesiputkista ovat edellisen putkiremontin aikaisia. Ne ovat nousulinjojen osalta sinkittyä teräsputkea hamppu/kitti

-kierreliitoksia. Lämminkäyttövesijohdoista suurin osa ovat edellisen putkiremontin aikaisia kupariputkia joiden liitokset on tehty messinkijuotoksia. Lämmin- ja kylmäkäyttövesijohdojen linjasulkuventtiilit kellaritiloissa ovat uusittuja palloventtiileitä. Kellarissa sisäpuoliset näkyvät jätevesiviemärit ovat valurautaa, kuten myös kiinteistön tonttiviemäri. [13.]

2.4.2 Lämmitysjärjestelmä ja lämpöjohdot

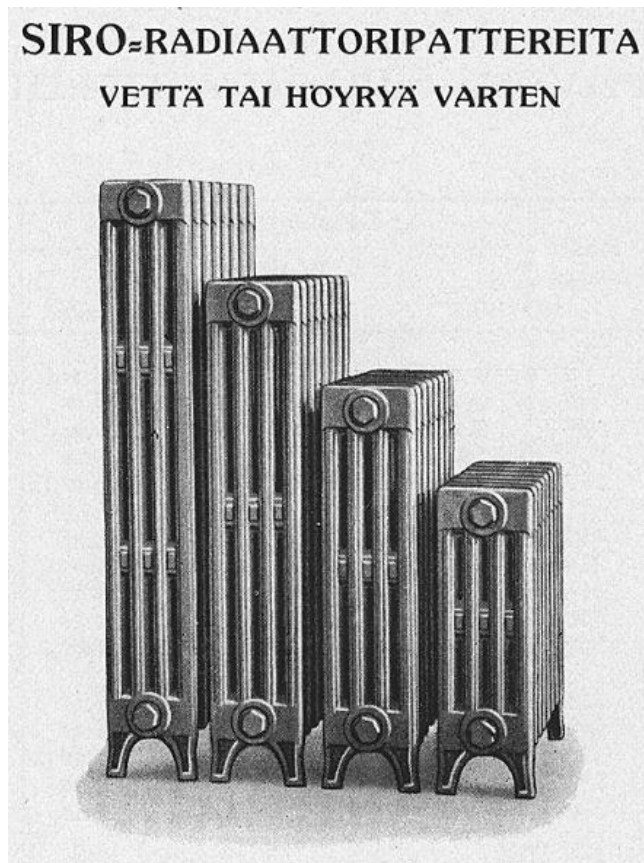
Kellarin lämmönjakohuoneessa sijaitseva lämmönjakokeskus on uusittu vuonna 2010 [13]. Lämmönjakokeskuksen uusimisen yhteydessä kaikki vanhat käytöstä poistetut lämmityslaitteet on purettu [13].

Rakennuksessa on alun perin ollut painovoimainen vesikeskuslämmitys. Se selviää alkuperäisten lämmitysputkistojen sijoittelusta kellarissa. Painovoimaisessa lämmitysjärjestelmässä menojohdo kulkee katossa ja paluujohdo lattiaan tasalla tai lattiaan kaivetussa kanaalissa. Painovoimaisen lämmitysjärjestelmän toiminta perustuu siihen, että veden tiheys pienenee veden lämmitessä, eli vesi kevenee, jolloin lämmin vesi pyrkii putkessa ylöspäin. Vedestä lämpö siirtyy radiaattoreiden kautta tiloihin, jolloin vesi radiaattoreissa jäähtyy. Jäähtyneen veden tiheys kasvaa, jolloin se tulee painavammaksi ja palaa paluujohdo pitkin takaisin lämmönjakohuoneeseen. Painovoimaisen lämmitysjärjestelmän kiertovoima perustuu siis järjestelmässä kiertävän veden termiseen painoeroon. Veden painoeron aikaansaama kiertovoima on melko pieni, joten lämmitysjärjestelmän putkiston virtausvastuksen tulee olla myös pieni – putkien halkaisijoiden tulee olla suuria. Painovoimaisia lämmitysjärjestelmiä ei liene enää käytössä, mutta kuten tässäkin kohteessa, alkuperäiset painovoimaisen lämmitysjärjestelmän putkistot ovat tallella ja käytössä. [14, s. 112.]

Kaikki lämpöjohtoputket ovat teräsputkea hitsaus- ja kierreliitoksia [13]. Sisäpuolisten lämpöjohtojen kunto on hyvä [13]. Kellarissa sijaitsevat sulku- ja säätöventtiilit ovat pääosin uusittuja [13]. LVV-kuntotutkimusraportin mukaan lämpöjohdot ovat hyvässä kunnossa [15]. Raportissa muistutetaan putkiston käyttöiän lyhenemisestä, mikäli verkostoon lisätään hapekasta vettä [15].

2.4.3 Radiaattorit

Radiaattorit ovat pääosin alkuperäisiä valurautaradiaattoreita malliltaan Högfors Siro (kuva 2) [16, s. 59]. Ensimmäinen maininta Kansalliskirjaston digitoidussa arkistossa Siro-radiaattoreista on vuodelta 1932, mutta niitä on oletettavasti valmistettu jo aiemmin. Hankesuunnitelmassa mainitaan radiaattoreiden olevan hyvässä kunnossa. Radiaattoreiden käsisäätöventtiilit on uusittu termostaattiventtiileiksi [13].



KUVA 2. Högfors Siro -radiaattori [16, s. 59]

2.4.4 Ikkunat

Pihanpuoleiset ikkunat ja etenkin yläkerrosten ikkunat ovat pikaisen kunnostuksen tarpeessa. Kadunpuoleiset ikkunat eivät ole niin huonossa kunnossa, kuin pihanpuoleiset ikkunat, mutta nekin ovat raportin mukaan kunnostuksen tarpeessa. Etenkin tiivisteet ja lukituslaitteet ovat huonossa kunnossa sekä pihan- että kadunpuoleisissa ikkunoissa (kuva 3). [17.]



KUVA 3. Vaurioita ikkunan tiivisteissä [17]

2.4.5 Osakaskysely

Hankesuunnitelman yhteydessä teetettiin osakaskysely. Kyselyssä osakkailta tiedusteltiin muun muassa perustietoja asunnoista, asuntojen kuntoon liittyviä kysymyksiä, asuntojen sisäilmaan liittyviä kysymyksiä sekä toiveita tulevaan linjasaneeraukseen liittyen. Lämmitysjärjestelmäsuunnittelun kannalta kiinnostavia olivat erityisesti asuntojen sisäilmaan liittyneet vastaukset. Osakaskyselyn tuloksia sisäilmaan liittyen on esitetty taulukossa 2 [18].

TAULUKKO 2. Osakaskyselyn tuloksia [18]

Kysymys	Kyllä	Ei	En osaa sanoa
Oletko tyytyväinen huoneiston sisäilmaan?	53 %	20 %	27 %

Kysymys	Kyllä	Ei, asunnossa on liian kylmä	Ei, asunnossa on liian kuuma	En osaa sanoa
Onko huoneiston sisälämpötila sopiva?	43 %	7 %	17 %	33 %

Kysymys	Kyllä	Ei	En osaa sanoa
Esiintyykö huoneistossa vetoa?	22 %	53 %	25 %

Huoneiston vetoisuuteen liittyneessä kysymyksessä kyllä-vastaajien mukaan vetoa esiintyy lähes yksinomaan ikkunoista. Avoimeen kysymykseen sisäilmasta ja lämmityksestä vastasi 21 osakasta. Suurin osa avoimeen kysymykseen vastaajista oli sitä mieltä, että kesäisin asunto on turhan kuuma ja talvella vastaavasti liian kylmä. Myös heikosti toimivaa ilmanvaihtoa kommentoitiin. [18.]

3 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄSUUNNITTELU

Keskeinen LVI-alan tehtävä on sisäilmaston luominen, johon lämmitys olennaisena osana kuuluu [19, s. 7]. Lämmityksen avulla on tarkoitus ylläpitää rakennuksessa sen toimintatarkoitusta vastaavia lämpöolosuhteita [19, s. 7]. Lämmitysjärjestelmäsuunnittelun perusajatus on lämmityksen avulla kattaa rakennuksen lämmitystarve. Rakennuksen lämmitystarve muodostuu lämpöhäviöistä [19, s. 60]. Lämpöhäviöt jaetaan tavallisesti ulkoilmaan rajoittuvien rakenteiden läpi johtumalla siirtyvään lämpötehoon sekä ilmanvaihdon, vuotoilman ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittavan lämpöenergian määrään [19, s. 60].

3.1 Rakennusfysiikka

Rakennusfysiikka on tärkeä osa LVI-alaa. Rakennusfysiikasta etenkin akustiikan ja rakennusten lämpötekniisen toiminnan ymmärtäminen on LVI-insinööreille tärkeää. Lämpö siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta kohti matalampaa siten, että lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan [19, s. 60]. Siirtyminen voi tapahtua kolmella tavalla: johtumalla, konvektiona tai säteilemällä [19, s. 60].

3.1.1 Johtuminen

Rakennusosien läpi lämpö siirtyy johtumalla. Rakennusosien läpi siirtyvän lämpövirta on verrannollinen rakennusosan pinta-alaan ja lämpötilaeroon. Lämmön johtumista mitataan lämpöresistanssilla tai, LVI-alalla enemmän käytetyllä, sen käänteisluvulla lämmönjohtavuudella. [19, s. 61.]

3.1.2 Konvektio

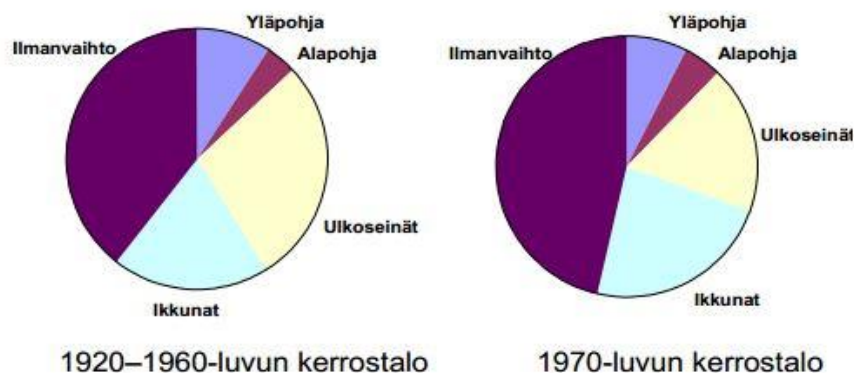
Konvektiona lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Kiinteän pinnan ja sitä koskettavan kaasun tai nesteen välillä vallitseva lämpötilaero aiheuttaa konvektion lämmön siirtyessä pintaan tai siitä pois. Virtauksen tapahtuessa vain lämpötilaerojen johdosta, nimitetään ilmiötä luonnolliseksi konvektioksi. Pakotetuksi konvektioksi kutsutaan ilmiötä, jossa lämmenneen kaasun tai nesteen virtausta tehostetaan esimerkiksi puhaltimella tai pumpulla. [19, s. 61.]

3.1.3 Säteily

Jokainen kappale lähettää eli emittoi sähkömagneettista säteilyä jota myös lämpösäteilyksi kutsutaan [19, s. 63]. Jokainen kappale myös vastaanottaa eli absorboi tätä lämpösäteilyä [19, s. 63]. Lämpösäteily ei tarvitse väliainetta [19, s. 63]. Hyvänä esimerkkinä lämpösäteilystä toimii auringon emittoiva säteily, jota maapallo absorboi. LVI-tekniikassa oivana esimerkkinä toimii radiaattoreiden lähettämä lämpösäteily.

3.2 Asuinkerrostalojen lämpöenergiankulutus

Rakennuksen vaipan läpi johtuva lämpö ja rakennuksen ilmanvaihto ovat suurimmat tekijät lämpöenergiankulutuksen kannalta asuinrakennuksissa. Lämpöenergiaa siirtyy myös jäteveden mukana, mutta jäteveden mukana rakennuksesta pois siirtyvää lämpöenergian määrää on vaikea arvioida. Kuvassa 4 on esitetty eri aikakausien tyypillisten asuinrakennusten lämpöhäviöiden suhteellisia osuuksia ympyrädiagrammien muodossa [20, s. 18]. Diagrammeissa ei ole otettu huomioon jäteveden mukana siirtyvää lämpöenergiaa.



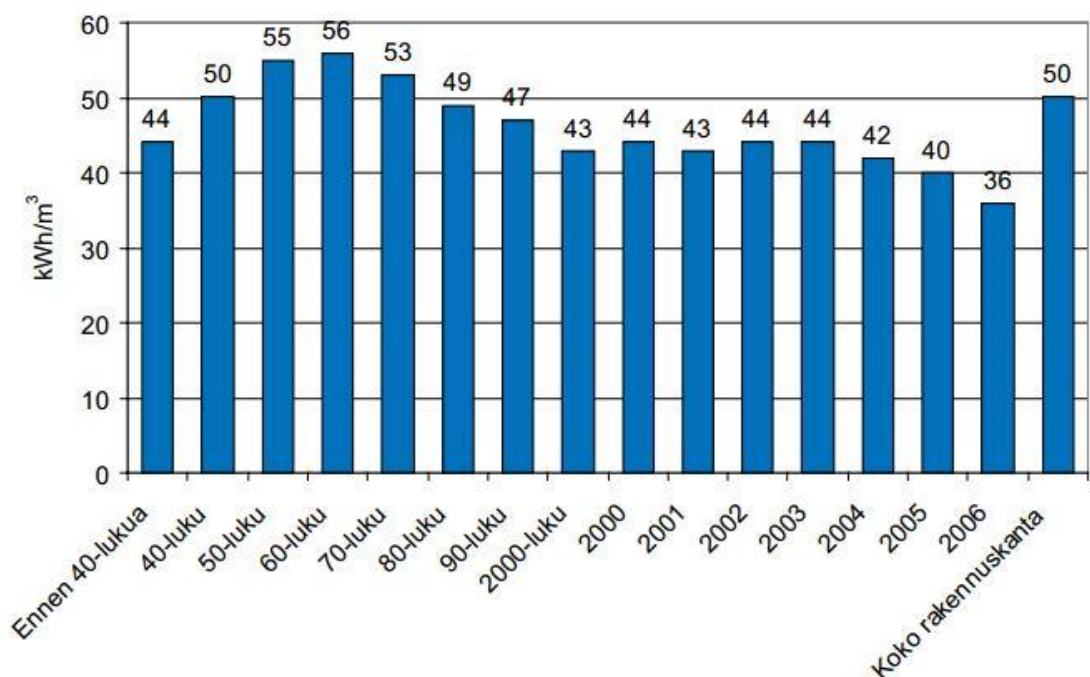
KUVA 4. Esimerkkejä lämpöhäviöiden suhteellisista osuuksista eri aikakausien tyypillisissä asuinrakennuksissa [20, s. 18]

Kuvasta 4 nähdään esimerkiksi ulkoseinän lämpöhäviöiden määrän suhteellinen pieneneminen lämmöneristystekniikaltaan tehokkaampien rakennusmateriaalien korvattua tiilirakentamisen 1950-luvun puolivälissä. Kuvaa 4 tarkastellessa tulee kuitenkin muistaa, että vaikka 1970-luvun kerrostalojen rakennusosien U-arvot ovat huomattavasti esimerkiksi 1920-luvun kerrostalon rakennusosien U-arvoja paremmat, ovat 1920-luvun kerrostalot todistetusti energiatehokkaampia [21].

Suurin osa Helsingin vanhoista asuinkerrostaloista on tehty massiivitiilirakenteisina käyttämättä erillistä lämmöneristystä [22]. Tiilellä on kyky sitoa, varastoida ja luovuttaa lämpöä massiivisuutensa ja huokoisen rakenteensa ansiosta [22]. Käytännössä massiivirakenteiset rakennusosat tasoittavat vuorokauden aikaisia lämpötilanvaihteluja [22]. Tästä syystä tai siitä huolimatta nämä vanhat rakennukset ovat edelleen energiateknisissä vertailuissa todettu erinomaisiksi [22]. Helenin (aiemmin Helsingin Energia) keräämien normeerattujen ominaislämmönkulutustietojen pohjalta nähdään, että vasta

2000-luvulla rakennettujen asuinkerrostalojen energiankulutus on pienempi, kuin ennen 1940-lukua rakennetuissa asuinkerrostaloissa (kuva 5) [21].

Kulutustietojen normeerauksella poistetaan vuotuisten vaihteluiden aiheuttamat poikkeamat energiankulutuksessa. Näin rakennuksen vuotuisista energiankulutuksista saadaan vertailukelpoisia ja eri aikakausinakin rakennettujen rakennusten energiankulutuksia voidaan vertailla keskenään. [23; 24]. Tarkemmin normeerauksesta on kerrottu opinnäytetyön kohdassa 3.4. Ominaislämmönkulutus taas on luku, jonka avulla eri kokoisten rakennusten lämmönkulutustiedot ovat keskenään vertailtavissa.



KUVA 5. Normeerattu ominaislämmönkulutus Helsingin kaukolämmitteisissä asuinkerrostaloissa eri vuosikymmeninä, tilanne vuonna 2007 [21]

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen laatiman katsauksen mukaan Helsingin kaukolämmitteisen rakennuskannan ominaislämmönkulutus on viimeisen neljänkymmenen vuoden aikana pienentynyt noin kolmanneksella, osittain vanhojen rakennusten energiatehokkuuden parantamisen, kuten ikkunoiden kunnostamisen, ansiosta [21].

3.3 Lämmitysjärjestelmäsuunnittelun eteneminen

Saneerauskohteen lämmitysjärjestelmäsuunnittelu alkaa tutkimuksilla kiinteistökieroksella. Kuten jo aiemmin tässä opinnäytetyössä on mainittu, vanhojen kerrostalojen

alkuperäiset teräksiset lämpöjohtomateriaalit ovat yleensä seinämänpaksuudeltaan niin paksuja, ettei niitä ole tarve vaihtaa. Myös vanhojen kerrostalojen asunnoissa olevat alkuperäiset valurautaiset radiaattorit ovat yleensä niin hyvässä kunnossa, ettei niitä ole tarve vaihtaa. Useimmiten asukkaat haluavatkin arkkitehtuurisen ilmeen vuoksi säilyttää alkuperäiset radiaattorit, mikäli se vain on mahdollista. Sen sijaan kellaritiloissa olevat radiaattorit ovat usein joutuneet kärsimään esimerkiksi lämpötilan vaihteluista sekä ulkoisesta kosteudesta, jolloin niiden korvaaminen uusilla radiaattoreilla voi tulla kysymykseen. Vanhoissa asuinkerrostaloissa usein myös kylpyhuoneissa on käytetty tavanomaisia radiaattoreita – nämä radiaattorit ja niiden näkyvät putkiosuudet ovat altistuneet ulkopuoliselle kosteudelle siinä määrin, että ne yleensä linjasaneerauksen yhteydessä puretaan. Kiinteistökierröksellä LVI-suunnittelijan tärkein tehtävä onkin selvittää olemassa olevat lämpöjohtoreitit, venttiileiden paikat sekä määrät ja tutkia radiaattoreiden kunto. Tämä on tärkeää paitsi suunnitelmien todenmukaisen piirtämisen, mutta myös urakkalaskennan kannalta.

Piirustusten laadinta alkaa kiinteistökierröksen tietojen pohjalta piirtämällä nykyiset lämpöjohtoreitit venttiileineen sekä asettamalla nykyiset radiaattorit paikoilleen piirustuksiin. Suunnitteluohjelmista löytyy suurimmilta osin kaikki vanhat radiaattorit ja niiden lämmönluovutustehotiedot. Suunnittelijan tehtäväksi jää radiaattorityypin tunnistaminen. Radiaattorityypin tunnistakseen suunnittelijan täytyy käydä läpi vanhojen radiaattorivalmistajien esitteitä. Joitain yksittäisiä tilanteita lukuun ottamatta vanhat radiaattorityypit selviävät, sillä vanhoissa asuinrakennuksissa on suurella todennäköisyydellä käytetty kotimaisten valmistajien, kuten Högforsin, valurauta- ja teräslevyradiaattoreita.

Mikäli radiaattorin tyyppiä ei kuitenkaan saada selville, voi suunnitelmissa käyttää toista, mutta samankaltaista radiaattoria. Lämpöpinta-aloiltaan samankokoiset, vaikkakin erimalliset, valurauta- tai levyradiaattorit luovuttavat suurin piirtein yhtä paljon lämpötehoa. Vanhojen radiaattoreiden esitteistä käy useimmiten ilmi vähintään radiaattorin mitat sekä lämpöpinta-ala. Joskus on saatettu ilmoittaa myös lämmönluovutusteho muodossa kcal/h. Yksi kcal/h on 1,163 W.

Kiinteistökierröksen tietojen pohjalta laaditaan siis linjasaneerauskohteen nykytilaa vastaavat piirustukset. Tästä tilanteesta suunnitelmia ryhdytään muokkaamaan toteutusvaiheeseen sopiviksi. Esimerkiksi vanhat lämmitysjärjestelmän venttiilit ovat saattaneet

sijaita vaikeasti saavutettavissa paikoissa, kuten kellaritiloissa asukkaiden varastokopeissa. Lämpöjohtoreitityksiä tulee muuttaa niin, että venttiilit voidaan asentaa helposti saavutettaviin paikkoihin, kuten kellarin käytävälle.

3.4 Normeeraus ja lämmitystarveluku

Normeeraus tarkoittaa sääkorjattua energian käyttöä [24]. Normeerauksen ansiosta saman rakennuksen vuotuisista energiankulutuksista saadaan vertailukelpoisia [23]. Normeeraus mahdollistaa myös eri aikakausina rakennettujen sekä eri paikkakunnilla sijaitsevien rakennusten energiankulutuksen vertailun keskenään [24]. Kaukolämmön toimitajilla on tarjota laskutetut kulutustiedot muutaman viimeisen vuoden ajalta. Esimerkiksi Helenillä nämä tiedot ovat saatavilla sähköisesti useimpiin kohteisiin vuodesta 2007 lähtien. Nämä laskutetut kulutustiedot tulee normeerata uuden lämmönjakokeskuksen mitoitusasteen laskentaa varten [25 s. 74].

Normeerauksessa laskutettua energian käyttöä verrataan normaalivuoteen [24]. Normaalivuosi tarkoittaa sellaista kalenterivuotta, joka vastaa sääoloiltaan pitkän ajan keskiarvoa. Laskennassa käytetään normaalivuoden lämmitystarvelukua, jota myös aste-päiväluvuksi kutsutaan. Yksinkertaistettuna lämmitystarveluku tarkoittaa tuntien määrää, jolloin rakennuksen lämmitysjärjestelmä on ollut toiminnassa. Normaalivuoden lämmitystarvelukuna käytetään vuosien 1981–2010 keskimääräistä lämmitystarvelukua [24]. Esimerkiksi Helsingissä se on 3878 [23].

3.5 Vuotoilma

Vuotoilmalla tarkoitetaan rakennuksen epätiiveyksiensä kautta tapahtuvaa hallitsematonta ilmanvaihtoa. Vanhassa asuinkerrostalossa vuotoilma vaikuttaa lämpöhäviöihin merkittävästi. Se, kuinka paljon se tarkalleen vaikuttaa, on vaikeampi arvioida. Määräykset vuotoilman laskentaan muuttuivat radikaalisti vanhojen asuinkerrostalojen kanalta vuoden 2012 määräyksissä. Aiemmin käytössä ollut ilmanvuotoluku n_{50} korvattiin uudella q_{50} -ilmanvuotoluvulla.

Vanha n_{50} -ilmanvuotoluku ilmoitti vuotoilmamäärän rakenteiden läpi 50 Pascalin alipaineella yhden tunnin aikana suhteutettuna vaipan pinta-alaan (1/h). Vuonna 2012 käyttöön otettu uusi q_{50} -ilmanvuotoluku taas ilmoittaa vuotoilmamäärän rakenteiden

läpi 50 Pascalin alipaineella yhden tunnin aikana suhteutettuna rakennuksen ilmatilavuuteen (m^3/hm^2). Pienissä rakennuksissa (omakotitalot, rivitalot) uusi määräys ei juurikaan tuonut muutosta ilmanvuotolukuun ja sitä myöten vuotoilman aiheuttamien lämpöhäviöiden teoreettiseen määrään, mutta suuremmissa rakennuksissa, kuten kerrostaloissa, ero on huomattava. [26.]

Ympäristöministeriön laatima Energiatodistusopas 2016 ohjaa laskemaan kaikki ennen vuotta 2003 rakennetut rakennukset ilmanvuotoluvulla n_{50} : 6 l/h (taulukko 3) [27, s. 9]. Työterveyslaitoksen laatiman Arvorakennusten käytettävyys ja hyvät korjauskäytännöt -raportin mukaan vanhan täystiilimuurisen rakennuksen ilmanvuotoluku lienee lähempänä arvoa n_{50} : 7 l/h [28, s. 63].

TAULUKKO 3. Suunnittelussa käytettävä ilmanvuotolukuarvo, mikäli kohteessa ei ole tehty erillistä selvitystä ilmanvuotoluvusta [27, s. 9]

Rakennusluvan vireilletulovuosi	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50}	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	4,0	4,0	4,0	
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50}									4,0

Ilmanvuotoluku n_{50} voidaan muuttaa q_{50} -ilmanvuotoluvuksi yhtälön 1 avulla, kun tiedossa on rakennuksen n_{50} -luku, ilmatilavuus ja vaipan pinta-ala [29, s. 19]:

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{\text{vaippa}}} V_i \quad (1)$$

jossa q_{50} ja n_{50} ovat rakennusvaipan ilmanvuotolukuja, V_i on rakennuksen ilmatilavuus ja A_{vaippa} on rakennusvaipan pinta-ala.

Esimerkiksi opinnäytetyön esimerkkikohteessa q_{50} -ilmanvuotoluvuksi arvolla n_{50} : 6 l/h tulee $19,4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Tämä vastaa vanhoissa yhtälöissä käytettyä vuotoilmakerrointa 0,24 l/h.

3.6 Korvausilma

Korvausilmalla tarkoitetaan painovoimaisen ilmanvaihdon tai koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmään kuuluvaa hallittua raittiin ilman tuontia rakennukseen korvausilmaventtiilien kautta. Korvausilma vaikuttaa vuotoilman tavoin asuinkerrostalon läm-

pöyhäviöiden määrään. Korvausilmaventtiilin kautta tulevan ilman määrää on vuotoilman tavoin painovoimaisen ilmanvaihdon asuinkerrostalossa vaikea arvioida, sillä sääolosuhteet vaikuttavat oleellisesti rakennuksen ilmanvaihtoon. Painovoimaisen ilmanvaihdon asuinkerrostalossa ilman vaihtuvuuteen vaikuttavat ulkolämpötila sekä tuulen suunta ja nopeus [30, s. 210]. Tuulen nopeuteen ja suuntaan taas vaikuttavat rakennuksen sijaintipaikka sekä sen sijainnin suojaisuus, kuten maaston peitteisyys ja viereiset rakennukset [30, s. 210].

Korvausilmaventtiilin kautta tulevaan ilman määrään vaikuttaa oleellisesti paine-ero ulko- ja sisäilman välillä. Mittauksissa on havaittu painovoimaisen ilmanvaihdon kohteissa paine-eron ulko- ja sisäilman välillä jäävän melko pieneksi, useimmiten alle kymmeneen Pascaliin [31, s. 31]. Koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmissä paine-ero ulko- ja sisäilman välillä voi olla moninkertainen [31, s. 31].

Toimiakseen suunnitellusti painovoimaisen ilmanvaihdon ja koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmissä korvausilmaventtiilit tulisi pitää hieman auki myös kovimmilla pakkasilla. Suljetut korvausilmaventtiilit voivat lisätä jopa riskiä terveydelle haitallisten epäpuhtauksien pääsemisestä huoneistoon ilmanvaihdon imiessä korvausilmaa rakenteiden epätiiveyksien kautta.

Teknologian tutkimuskeskuksen VTT:n tekemässä tutkimuksessa noin 20 Pascalin paine-erolla Velco-korvausilmaventtiilin kautta tulevan ilman määräksi kahdenkymmenen asteen pakkasella mitattiin noin 4 l/s [32]. Samassa tutkimuksessa havaittiin tuloilman lämpenevän korvausilmaventtiilissä parin asteen verran [32]. Tämän opinnäytetyön esimerkkikohteessa Velco-korvausilmaventtiilin VT-100 kautta tulevan ilman määräksi mitoitustilanteessa on arvioitu noin 2,5 l/s (venttiilin asento 2 mm, paine-erolla ~9 Pascalia, tuloilman lämpötila -24 °C). Venttiilin virtauskaavio on esiteltynä liitteessä 2.

3.7 Lämmönjakokeskuksen mitoitus

Taloyhtiön lämmönjakokeskuksen käyttöikä on yleensä noin 25 vuotta ja sen uusiminen on useimmiten ajankohtaista linjasaneerauksen yhteydessä. Uusi lämmityksen lämmönsiirrin vanhaan asuinkerrostaloon mitoitetaan todellisen kulutuksen perusteella. Kaukolämmöntoimittajalta saatavat laskutetut kulutustiedot edellisiltä vuosilta normeerataan,

jolloin saadaan rakennuksen lämmityksen huipputehontarve eli lämmityksen lämmönsiirtimen mitoitusteho seuraavalla yhtälöllä 2 [25 s. 74.]:

$$\phi_{mit} = \frac{Q_l}{H} = \frac{(Q - Q_{kv})}{\frac{24 \cdot S}{(17^\circ\text{C} - T_u)}} \quad (2)$$

jossa ϕ_{mit} on lämmityksen huipputehontarve eli mitoitusteho, Q_l on lämmitykseen kulunut energia tarkasteluaikana, Q on energiankulutus tarkasteluaikana, Q_{kv} on käyttöveden lämmittämiseen kulunut lämmitysenergia tarkasteluaikana, H on lämmityshuipun käyttöaika tarkasteluaikana, 24 on kerroin lämmityshuipun käyttöajan laskentaa varten, S on paikkakunnan lämmitystarveluku tarkasteluaikana, 17°C on sisälämpötilan virallinen vakioluku, jota käytetään lämmöntarvelukujen laskennassa ja T_u on paikkakunnan mitoitussulkolämpötila. Tämä menetelmä sopii vain koneellisen poiston tai painovoimaisen ilmanvaihdon kohteisiin.

Käyttöveden lämmityksen energiankulutus arvioidaan esimerkiksi edellisvuosien kesäkuukausien kulutusten perusteella, jolloin lämmitysverkosto ei ole ollut toiminnassa. Nykyään käyttöveden lämmityksen energiankulutustietoja voi tiedustella myös taloyhtiön isännöitsijältä, mikäli yhtiöön on asennettu lämpimän käyttöveden kulutuksen mitaus. Yksityiskohtaiset ohjeet kaukolämmön lämmönjakokeskuksen mitoitukseen löytyy Energiateollisuuden julkaisusta Rakennusten kaukolämmitys K1/2013 [25].

4 RAKENNUSMATERIAALIT JA -OSAT VANHOISSA ASUINKERROSTALOISSA

4.1 Runkotyypit

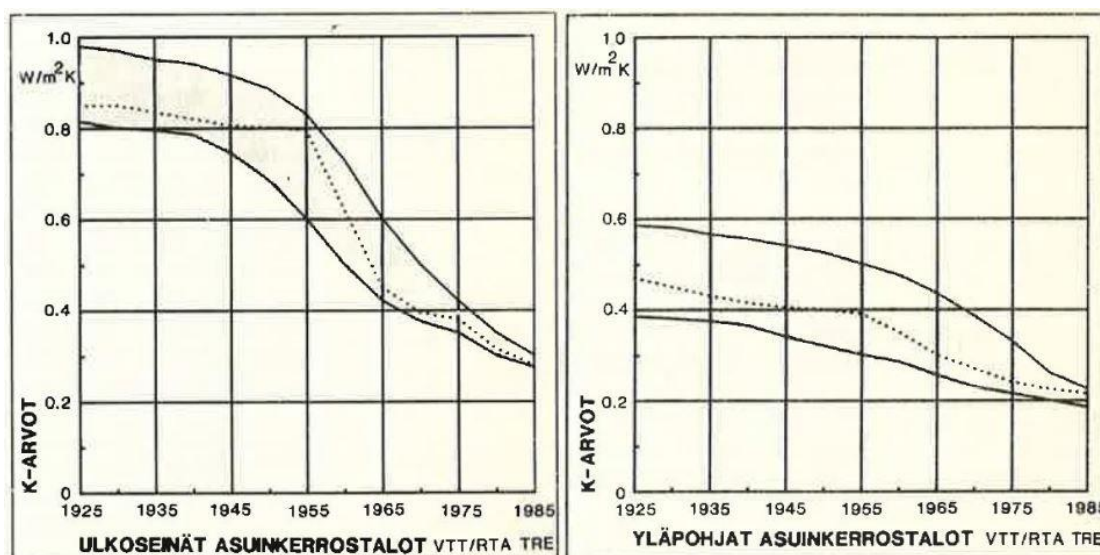
Tiilimuurirungon käyttäminen kerrostalojen pääasiallisena runkotyyppinä oli vallitseva suuntaus aina 1950-luvun puoliväliin saakka. 1920-luvulta lähtien saatettiin kantavina pystyrakenteina käyttää tiilimuurin sijasta myös teräsbetonipilareita talon keskellä niiden kätevemmän muunneltavuuden ja aukotusmahdollisuuksien vuoksi (niin kutsuttu sekarunko). [2, s. 10-11, 16, 88.]

Betoni syrjäytti tiilen rakennusten rungon yleisimpänä materiaalina 1950-luvun puolivälissä. 1960-luvulta alkaen rakennusten runkoratkaisuina saatettiin käyttää betonipilarirunkoa, betoniseinärunkoa tai elementtirakenteista betonista kirjahyllyrunkoa. [2, s. 10-11, 90.]

4.2 Ulkoseinärakenteet ja -materiaalit

Asuinkerrosten yleisin ulkoseinärakenne oli kahden kiven täystiilimuuri, paksuudeltaan noin 60 cm. Ulkoseinät olivat 1900-luvun alun asuinkerrostaloissa alemmissa kerroksissa yläkerroksia paksumpia. Helsingin rakennusjärjestys edellytti vuoteen 1917 asti viisikerroksisten talojen pohjakerroksen ulkoseinän paksuudeksi kaksi ja puoli kiveä. 1930-luvun jälkipuoliskolla lämmöneristävyysominaisuuksiltaan parempi monireikätiili pudotti ulkoseinärakenteen paksuuden kolmannekseen aiemmasta. Tämän seinärakenteen lämmönläpäisykerroin on hieman huonompi kuin kahden kiven täystiilimuurilla, mutta ohuemmalla seinärakenteella saatiin lisää myytäviä tai vuokrattavia asuineliöitä. [2, s. 10, 16, 55.]

Ulkoseinärakenteiden U-arvot paranivat betonin korvattua tiilirakenteet. Ulkoseinärakenteisiin alettiin tosin jo 1920–1930-luvuilla liittää täystiiliä lämmöneristyskyvyiltään tehokkaampia rakennusaineita, kuten kevytbetonia, lastuvillalevyä ja korkkia [2, s. 55]. Näitä käytettiin muun muassa patterisyvennysten ja erkkereiden eristämiseen [2, s. 55]. Kuvassa 6 on esitetty ulkoseinien ja yläpohjien U-arvojen kehitys vuosina 1925–1985 [33, s. 15]. Arvioitu hajonta-alue on kattanut valtaosan rakennustuotannosta kunakin aikakautena. Katkoviiva grafiikassa kuvaa rakennuskannan U-arvon mediaania.



KUVA 6. Ulkoseinien ja yläpohjien U-arvokehitys (aiemmin k-arvo) vuosina 1925–1985 [33, s. 15]

1950-luvulta lähtien ulkoseinien yleisimmiksi rakennusmateriaaleiksi tulivat erilaiset betoniseinä- ja betonisandwich-ulkoseinärakenteet. Ulkoseinärakenteena saattoi olla kevytbetonia pelkiltään, kevytbetonia tiiliverhoilulla tai kevytbetonia tiiliverhoilulla eristeen kanssa. Eristeenä käytettiin yleisimmin mineraalivillaa. Lisäksi ulkoseinärakenteina saattoi olla kevytbetonin ja teräsbetonin tai kevytbetonin ja betonin yhdistelmiä, sekä betonisia seinärakenteita eristeen kanssa. [2, s. 88-91, 148-151.]

4.3 Ala-, väli- ja yläpohjat

4.3.1 Alapohjat

Alapohjaksi valettiin tavanomaisesti betonilaatta soran päälle. 1800-luvun lopun ja 1900-luvun alun asuinrakennusten kellarikerrosta pidettiin toissijaisena tilana eikä esimerkiksi sen vedeneristykseen kiinnitetty juurikaan huomiota [2, s. 17]. Osittaisesta lämmityksestäkin huolehti vain kellaritiloissa kulkeneet keskuslämmitysjärjestelmän jakojohdot. Kellarin ja ensimmäisen kerroksen välipohjan rakenteena oli tiilestä rata- kiskojen varaan rakennettu kappaholvi [2, s. 17].

4.3.2 Väli- ja yläpohjat

Tavallisten asuinrakennusten välipohjat kannatettiin 1900-luvun ensivuosisikymmenelle asti lähes yksinomaan jyrkeillä puupalkeilla eli vasoilla. 1900-luvun alussa välipohjia

rakennettiin runsaasti myös I-terästen tai ratakiskojen varaan. Teräspalkkien varaan valettu betonilaatta muodosti useimmiten välipohjan alapinnan. Erilaisia teräsbetonisia välipohjarakenteita kehitettiin runsaasti 1900-luvun kahden ensimmäisen vuosikymmenen aikana, mutta yleisimmäksi välipohjatyypiksi vuoteen 1920-mennessä vakiintui alalaattapalkisto. Paloturvallisuussyistä ullakon lattia suojattiin betonista valetulla tai tiilisellä palopermannolla. [2, s. 17.]

Kaikki 1900-luvun asuinkerrosten väli- ja yläpohjat varustettiin äänen- ja lämmöneristysyistä täytteillä [2, s. 23]. Täytteinä käytettiin yleisimmin rakennusjätteitä (esimerkiksi kuivunutta laastimuraa), luonnontuotteita (turvepehku, sammal, olki, hiekka) ja erilaisia teollisuuden sivutuotteita (sahajauho, kutterinlastu, koksikuona, masuuni-kuona) [2, s. 23]. Täytteiden painuminen ja ikääntyminen vaikuttavat luonnollisesti väli- ja yläpohjien lämmöneristyskykyyn.

1950-luvun alkuun asti alalaattapalkisto oli asuinrakennusten yleisin väli- ja yläpohjatyyppe. Massiivilaatta eli massiivinen teräsbetonilaatta yleistyi 1950-luvulta lähtien. Ääneneristysyistä massiivilaatan päälle valettiin teräsbetonista eristeen päälle niin sanottu uiva laatta. Yläpohjarakenne oli välipohjarakenteen kanssa saman tyyppinen – eristekerros tehtiin vain paksummaksi lämmöneristysyistä. Massiivinen teräsbetonilaatta oli vallitseva väli- ja yläpohjarakenne 1970-luvulle asti. [2, s. 92-95, 153.]

4.4 Ikkunat

Tavallisimmin ikkunat olivat kaksilasisia sisään-ulos-aukeavia puukarmisia ikkunoita [2, s. 28]. Ikkunapenkit tehtiin aluksi puusta, mutta lämmityspattereiden yläpuolelle sijoitettuina puiset ikkunapenkit alkoivat kuivua ja halkeilla, jolloin ikkunapenkkejä alettiin valaa betonista [2, s. 28]. Eri tutkimuksissa on havaittu, että kunnostettuina vanhojen talojen kaksilasiset puukarmiset ikkunat ovat parempia U-arvoltaan, kun on yleisesti luultu [34 s. 22]. Lämpöhäviöiden kannalta suosiollisin lasiväli kaksilasisella ikkunalla on noin 10 cm [34 s. 22]. 1940-luvulta lähtien ikkunat olivat tavallisimmin sisään-sisään-aukeavia kaksilasisia puukarmisia ikkunoita [2, s. 100].

4.5 Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo kuvaa lämpövirran tiheyttä, joka läpäisee rakennusosan jatkuvuustilassa, kun rakennusosien eri puolilla vallitsee lämpötilaero [35, s. 3]. Se voidaan laskea käyttäen seuraavia yhtälöitä:

Rakennusosan lämmönläpäisykerroimen laskenta aloitetaan rakennusosan ainekerrosten lämmönvastuksien selvittämisellä. Ainekerroksen lämmönvastus lasketaan ainekerroksen paksuuden ja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon avulla yhtälöllä 3 [35, s. 5; 36, s. 6-7].:

$$R = \frac{d}{\lambda_U} \quad (3)$$

jossa R on ainekerroksen lämmönvastus, d on ainekerroksen paksuus metreissä ja λ_U on lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo. Rakennusaineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta C4.

Rakennusosan lämmönjohtavuudeltaan erilaiset ainekerrokset voivat olla peräkkäin tai rinnakkain lämpövirran suuntaan nähden. Peräkkäisistä ainekerroksista muodostuvan rakennusosan kokonaislämmönvastus lasketaan seuraavalla yhtälöllä 4 [35, s. 5; 36, s. 6-7]:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (4)$$

jossa R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus, R_{si} on sisäpuolen pintavastus, R_1, R_2, \dots, R_n on rakennusosan ainekerrosten 1, 2, ..., n lämmönvastukset ja R_{se} on ulkopuolen pintavastus.

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on rakennusosan kokonaislämmönvastuksen käänteisluku ja se lasketaan seuraavalla yhtälöllä 5 [35, s. 5]:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (5)$$

jossa U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin ja R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus.

Ensimmäisen kerran lämmönläpäisyarvot esiintyvät kirjallisuudessa silloisen Rakennusinsinööriyhdistyksen, nykyisen Suomen Rakennusinsinöörien liiton RIL:n, julkaistua ohjekirjan ”Asuinrakennusten seinämien lämmönläpäisyluvut ja niiden suositeltavat enimmäisarvot” vuonna 1949 [20, s. 20]. Ensimmäiset viralliset lämmöneristysnormit

julkaistiin vuonna 1962 samaisen yhdistyksen toimesta [20, s. 20]. Rakennusmateriaalien ja -osien lämmönläpäisyvaatimukset ovat vuosien saatossa kiristyneet lämmöneristysmateriaalien ja -tekniikan kehityksen mukana (taulukko 4) [27, s. 7].

TAULUKKO 4. Rakenteiden lämmönläpäisykerroinvaatimukset ja niiden kehitys ($\text{W/m}^2\text{K}$) [27, s. 7]

Rakennusosa	Rakennusluvun vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26	0,26
Maanvarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

4.6 Vanhojen asuinkerrostalojen rakennusmateriaalien ja -osien U-arvoja

4.6.1 Ulkoseinät

Ulkoseinien U-arvot ovat ajan saatossa parantuneet rakennustekniikan kehityksen mukana. Parempi ulkoseinän U-arvo ei kuitenkaan suoraan tarkoita parempaa energiatehokkuutta, sillä esimerkiksi 1900-luvun alun rakennusten massiiviset seinärakenteet ovat osoittautuneet hyvin energiatehokkaiksi ratkaisuiksi.

Tiilirakenteet

Tavanomainen 1900-luvun alun kahden kiven täystiilimuuriseinä on U-arvoltaan lähteestä riippuen 0,85–1,00 $\text{W/m}^2\text{K}$. Myöhemmin suosioon tulleen puolentoista kiven paksuinen monireikätiiliseinä on U-arvoltaan lähteestä riippuen 1,00–1,20 $\text{W/m}^2\text{K}$. [33, s. 39; 22; 37.]

Laskennallisesti täystiilimuuriseinän U-arvoksi tiilen tiheydestä riippuen tulee 0,85–0,98 W/m²K, kun ulkopuolen pintavastuksena käytetään arvoa 0,04 m²K/W ja sisäpuolen pintavastuksena arvoa 0,13 m²K/W [35, s. 14; 36, s. 19]. Vastaavasti laskennallisesti monireikätiiliseinälle U-arvoksi tiilen tiheydestä riippuen tulee 0,93–1,23 W/m²K [35, s. 14; 36, s. 19]. Suunnittelussa tiilirakenteen hyvien energiateknisten ominaisuuksien johdosta 600 mm paksuiselle tiiliseinälle voidaan hyvin käyttää arvoa 0,85 W/m²K ja 450 mm paksuiselle tiiliseinälle arvoa 0,95 W/m²K.

Betonirakenteet

Erilaisissa betoniin perustuvissa runkotyypeissä oli mahdollista käyttää useita erilaisia ulkoseinärakenteita. Betonipilarirunkoisessa rakennuksessa ulkoseinät oli mahdollista tehdä kevytrakenteisina, joka yleensä paransi ulkoseinärakenteen U-arvoa [2, s. 90]. Laskennallisesti esimerkiksi pelkän kevytbetonisen seinärakenteen U-arvo 250 mm paksuisena on noin 0,48 W/m²K, tiiliverhoiltuna vielä parempi.

Betoniseinärunkoisessa rakennuksessa seinät ovat nimensä mukaisesti kantavia rakennusosia, joten ne tehtiin yleensä teräsbetonista, jonka lisäksi käytettiin jotain lämmöneristyskyvyltään tehokkaampaa materiaalia, kuten kevytbetonia tai eristettä ja tiiliverhoilua. Esimerkiksi seinän, jonka rakenne oli sisältä-ulos teräsbetoni 150 mm, mineraalivilla 50 mm ja puolen kiven tiiliverhous, U-arvo on noin 0,68 W/m²K. [2, s. 90–91]

Mikäli ulkoseinän rakennetta ei voi varmuudella selvittää, voi suunnittelussa betonirakenteisille seinille käyttää esimerkiksi vuoden 1969 määräystä raskaalle seinämateriaalille 0,81 W/m²K ja kevyelle 0,47 W/m²K [27, s. 7].

Elementtirakenteet

Kirjahyllyrunkoisessa rakennuksessa rakennuksen pitkien sivujen seinät ovat ei-kantavia ja yleisin ei-kantavan seinän rakenne kirjahyllyisessä rakennuksessa oli betonisandwich-elementti, rakenteeltaan sisältä-ulos suunnassa betoni 80 mm, mineraalivilla 90 mm, betoni 50 mm. U-arvo tällaisella rakenteella on noin 0,49 W/m²K [2, s. 151]. Päätyseinät kirjahyllyrunkoisessa rakennuksessa ovat kantavia eli raskaita seinämateriaaleja, kuten betoniseinärunkoisessa rakennuksessa [2, s. 151].

Mikäli ulkoseinän rakennetta ei voi varmuudella selvittää, voi suunnittelussa myös elementtirakenteisille seinille käyttää esimerkiksi vuoden 1969 määräystä raskaalle seinämateriaalille $0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja kevyelle $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ [27, s. 7].

4.6.2 Alapohjat

Soran päälle valetun betonisen alapohjalaatan U-arvo on reuna-alueilla $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja keskellä $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ [33, s. 38]. Mikäli kellaritiloista esimerkiksi linjasaneerauksen yhteydessä remontoidaan muita kuin alkuperäisiä varastotiloja, tehdään tiloihin uusi alapohja eristyksineen. Jos tällaisia muutoksia rakennukseen on tehty edellisissä remonteissa, voidaan sellaisten tilojen lämmitysjärjestelmäsunnittelussa alapohjan U-arvona käyttää esimerkiksi vuoden 1969 määräystä $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ [27, s. 7]. 1960-luvulta lähtien alapohjatkin alettiin kosteus- ja lämmöneristää. Tällaisen tyypillisen alapohjan U-arvo on reuna-alueilla $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja keskellä $0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$ [33, s. 42].

4.6.3 Väli- ja yläpohjat

Kellarin ja ensimmäisen kerroksen kappaholvirakenteisen välipohjan U-arvo lieenee luokkaa $0,45\text{--}0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$, riippuen välipohjatäytteiden laadusta ja määrästä. Esimerkiksi 200 mm sahanpurueristeellä laskettuna välipohjan U-arvoksi tulee $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ (puolen kiven tiiliholvi – täytteet/puuvasat – lattialaudoitus) [2, s. 18]. Suunnittelussa kellarin ja ensimmäisen kerroksen välipohjan U-arvona kappaholvirakenteisessa välipohjassa sekä muissakin 1900-luvun alkupuoliskon välipohjaratkaisuissa voidaan käyttää esimerkiksi vuoden 1962 lämmöneristysnormia ”lattia osittain lämmitettyä tilaa vasten” $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ [33, s. 9].

Väli- ja yläpohjarakenteena 1950-luvun alkuun asti oli yleisimmin alalaattapalkisto- tai I-teräs-ratkaisu [2, s. 92]. Näiden rakenteiden U-arvot ovat hyvin samankaltaisia. Yksittäisessä asuinkerrostalossa välipohjien ja yläpohjan rakenne on lähes aina samanlainen, lukuun ottamatta yläpohjan palopermantorakennetta. Esimerkiksi alalaattapalkisto-yläpohjan U-arvo 200mm sahanpurueristeellä on laskennallisesti noin $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ (alalaatta – täytteet/palkit – aluslaudoitus – tervapaperi – palopermanto) [2, s. 21]. Suunnittelussa tällaisen yläpohjan U-arvona voidaan käyttää arviota $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$. 1950-luvulta lähtien yleistyneen massiivilaattaisen yläpohjaratkaisun U-arvo eristyk-

sestä riippuen on noin 0,20–0,44 W/m²K [33, s. 42–43]. Suunnittelussa tällaisen yläpohjan U-arvona voidaan käyttää esimerkiksi vuoden 1969 määräystä 0,47 W/m²K [27, s. 7].

4.6.4 Ikkunat

Kaksilasisen ikkunan U-arvoksi voidaan olettaa 2,50 W/m²K. Kunnostettuna tällaisen ikkunan U-arvoksi on mahdollista saada jopa 2,10 W/m²K, jos ikkunalasien väli on noin 10 cm [34, s. 21]. Vanhojen ikkunoiden tiivistämisellä on suuri merkitys ikkunoiden lämpöhäviöihin. Tiivistämättömän ikkunan lämpöhäviö voi olla jopa kaksinkertainen tiivistettyyn ikkunaan verrattuna [34, s. 20].

5 TILAN LÄMMITYSTEHTÄVÄN LASKENTA

Lämmitysenergian tarve tilassa, esimerkiksi asuinhuoneistossa, saadaan laskemalla yhteen kaikki lämmitystarvetta tuottavat tekijät. Tämä tapahtuu seuraavalla yhtälöllä 6 [29, s. 60]:

$$\phi_{\text{tila}} = \phi_{\text{joht}} + \phi_{\text{vuotoilma}} + \phi_{\text{iv,tuloilma}} + \phi_{\text{iv,korvausilma}} \quad (6)$$

jossa ϕ_{tila} on lämmitysenergian tarve tilassa, ϕ_{joht} on johtumislämpöhäviöt vaipan läpi, $\phi_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, $\phi_{\text{iv,tuloilma}}$ on tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve ja $\phi_{\text{iv,korvausilma}}$ on korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve. Useimmiten vanhoissa asuinkerrostaloissa on käytössä painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä jolloin tuloilman lämpenemiseen tarvittavaa lämpöenergian määrää ei luonnollisestikaan lasketa.

5.1 Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi

Yhtälössä 6 tarvittava johtumislämpöhäviöt vaipan läpi saadaan seuraavalla yhtälöllä 7 [29, s. 60]:

$$\phi_{\text{joht}} = \phi_{\text{ulkoseinä}} + \phi_{\text{yläpohja}} + \phi_{\text{alapohja}} + \phi_{\text{ikkuna}} + \phi_{\text{ovi}} + \phi_{\text{muu}} + \phi_{\text{kytäsillat}} \quad (7)$$

jossa $\phi_{\text{ulkoseinä}}$ on johtumislämpöhäviöt ulkoseinän läpi, $\phi_{\text{yläpohja}}$ on johtumislämpöhäviöt yläpohjan läpi, ϕ_{alapohja} on johtumislämpöhäviöt alapohjan läpi, ϕ_{ikkuna} on johtumisläm-

pöhäviöt ikkunoiden läpi, ϕ_{ovi} on johtumislämpöhäviöt ulko-ovien läpi, ϕ_{muu} on johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta ja $\phi_{kylmäsillat}$ on kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö.

Yhtälössä 7 tarvittavien ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien, kuten ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien johtumislämpöhäviöt lasketaan seuraavalla yhtälöllä 8 [29, s. 61]:

$$\phi_i = \Sigma U_i * A_i * (T_s - T_u) \quad (8)$$

jossa ϕ_i on tietyn ulkoilmaan rajoittuvan rakennusosan (i) johtumislämpöhäviö, U_i on tietyn rakennusosan (i) lämmönläpäisykerroin eli U-arvo, A_i on tietyn rakennusosan (i) pinta-ala, T_s on sisäilman lämpötila ja T_u on paikkakunnan mitoitusulkolämpötila.

Yhtälössä 7 tarvittava kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö lasketaan seuraavalla yhtälöllä 9 [29, s. 61]:

$$\phi_{kylmäsillat} = \Sigma l_k * \Psi_k * (T_s - T_u) \quad (9)$$

jossa $\phi_{kylmäsillat}$ on kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, l_k on viivamaisen kylmäsilan pituus, Ψ_k on viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, T_s on sisäilman lämpötila ja T_u on paikkakunnan mitoitusulkolämpötila. Lisäkonduktanssien laskennassa käytettäviä ohjearvoja on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5.

Maanvastaisen alapohjan johtumislämpöhäviö lasketaan ulkoilman lämpötilan sijasta käyttäen alapohjan alapuolisen maan keskimääräistä lämpötilaa. Maan keskimääräinen lämpötila saadaan maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan eron ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan summana. Maan ja ulkoilman vuotuisena keskilämpötilaerona käytetään vakiota 5 °C. [29, s. 18.]

5.2 Vuoto- ja korvausilman aiheuttamat lämpöhäviöt

Vuotoilmaa pääsee rakennuksiin rakenteiden epätiiviyksien kautta. Sen aiheuttama lämpöenergian tarve lasketaan seuraavalla yhtälöllä 10 [29, s. 61]:

$$\phi_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,vuotoilma} * (T_s - T_u) \quad (10)$$

jossa $\phi_{vuotoilma}$ on vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, ρ_i on ilman tiheys, c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, $q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirran määrä, T_s on sisäilman lämpötila ja T_u on paikkakunnan mitoitusulkolämpötila.

Yhtälössä 10 tarvittava vuotoilmavirran määrä saadaan seuraavalla yhtälöllä 11 [29, s. 19]:

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} * A_{vaiippa} \quad (11)$$

jossa $q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirran määrä, q_{50} on rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $A_{vaiippa}$ on rakennusvaipan pinta-ala alapohja mukaan luettuna, x on laskennassa käytettävä kerroin rakennuksen maanpäällisten kerrosten mukaan ja 3600 on kerroin, joka muuttaa ilmavirran haluttuun yksikköön. Kerroskorkeutta huomioivan kertoimen käytössä on otettava huomioon, että kerroin on tehty nykyisten asuinrakennusten standardikerroskorkeuksille, kun taas vanhoissa asuinkerrostaloissa kerroskorkeus on ollut suurempi. Käytännössä vanhan asuinkerrostalon kahden kerroksen korkeus voi vastata nykyrakennuksessa kolmen kerroksen korkeutta.

Jotta vanhassa painovoimaisen ilmanvaihdon asuinkerrostalossa saataisiin oikea kuva korvausilman lämmitystehontarpeen määrästä, tulee korvausilman lämmitystehontarve laskea vuotoilman tavoin (yhtälöillä 10 ja 11), tietenkin korvaamalla $q_{v,vuotoilma}$ yksiköllä $q_{v,korvausilma}$. Korvausilman määränä käytetään arviota mitoitustilanteessa tilaan tulevista korvausilman määrästä. Kuten jo aiemmin tässä opinnäytetyössä on mainittu, opinnäytetyön esimerkkikohteessa yhdestä korvausilmaventtiilistä mitoitustilanteessa tulevan korvausilman määräksi on arvioitu 2,5 l/s, joka on 0,0025 m³/s.

5.3 Esimerkkikohteen lämmönjakokeskuksen mitoitus

Esimerkkikohteen lämmönjakokeskus on uusittu vuonna 2010, joten sen käyttöikä on jäljellä vielä ainakin noin kaksikymmentä vuotta. Linjasaneerauksesta aiheutuvista muutoksista rakennuksen lämmitysjärjestelmään on lämmönjakokeskuksen mitoitus ainakin syytä tarkistaa linjasaneerauksen yhteydessä. Apuna lämmönjakokeskuksen mitoituksessa käytettiin opinnäytetyön tuloksena tuotettua Excel-ohjelmaa.

Excel-ohjelmaan syötetään ensin perustietoja rakennuksesta, kuten rakennustilavuus, huoneistoala ja -korkeus sekä asuntojen lukumäärä. Näitä tietoja tarvitaan muun muassa rakennuksen lämpöindeksin selvittämiseksi sekä käyttövesipattereiden kokonaistehontarpeen laskentaan. Lämpöindeksi tarkoittaa vuoden aikana käytetyn lämmitysenergian suhdetta rakennustilavuuteen [24]. Helen esimerkiksi vertailee samalla vuosikymmenellä rakennettujen rakennusten lämmitysenergiankulutusta toisiinsa lämpöindeksin avulla.

Seuraavaksi ohjelmaan syötetään kaukolämmöntoimittajan tilastoimat todelliset kulutustiedot ja normeeratut kulutustiedot. Lämmityksen lämmönsiirrin mitoitetaan näiden tietojen pohjalta. Kuvassa 7 esimerkkikohteen kulutustiedot syötettynä ohjelmaan.

Kaukolämmön kulutus							
	käyttö (MWh/a)	normeerattu käyttö (kWh/m ³)	normeerattu käyttö (MWh/a)	normeerattu käyttö (MWh) laskettu Helenin Vertaile-välilehden avulla (normeerattu käyttö x rakennustilavuus)			
2007	569,47	30,94	498,13				
2008	521,39	35,81	576,54				
2009	578,66	35,94	578,63				
2010	619,91	34,36	553,20				
2011	549,27	34,88	561,57		Tiedot Heleniltä		
2012	593,67	37,12	597,63		Syötä käsin		
2013	550,41	40,47	651,57				
2014	535,11	34,35	553,04				
2015	508,38	34,63	557,54				
Keskiarvo	558,47	35,39	569,76				

Lämpötila:
°C

KUVA 7. Esimerkkikohteen kulutustiedot syötettynä Excel-ohjelmaan

Kuvassa 8 on heinäkuun ja elokuun kaukolämmön kulutustiedot esimerkkikohteesta syötettynä ohjelmaan käyttöveden lämmitysenergiankulutuksen laskentaa varten. Kuvassa 8 esiintyy myös lämmitystarveluku, jota tarvitaan lämmityshuipun käyttöajan laskentaan, jota taas tarvitaan itse lämmityksen lämmönsiirtimen tehon laskennassa.

Käyttöveden käyttö (MWh) (heinä- ja elokuut)					
	heinäkuu	elokuu			
2007	18,25	19,71			
2008	14,59	16,98			
2009	16,72	15,65			
2010	12,9	14,03		Tiedot Heleniltä	
2011	13,66	16,31		Syötä käsin	
2012	15,46	17,49			
2013	14,48	16,08			
2014	14,18	16,01			
2015	15,73	15,51			
Keskiarvo	15,11	16,42			
Lämmitystarveluku 1980-2015 (Helsinki)					
1980-2010	3878	(Ilmatieteen laitos)			
Vertailuarvona eli normaalivuoden lämmitystarvelukuna käytetään vuosien 1981–2010 keskimääräistä lämmitystarvelukua. (Ilmatieteen laitos)					

KUVA 8. Kesäkuukausien heinä- ja elokuun kulutustiedot syötettynä ohjelmaan

Näiden tietojen avulla ohjelma laskee kohteelle lämmityksen lämmönsiirtimen tehon sekä muita hyödyllisiä tietoja, kuten käyttöveden lämmityksen energiankulutuksen, rakennuksen lämpöindeksiin ja ominaistehon suuruusluokan (kuva 9).

H = Lämmityshuipun käyttöaika (1980-2010) =		2164,5 h
Q _{kv} = Käyttöveden lämmityksen energiankulutus = (laskupohjana heinä- ja elokuut 2007-2015)		189,16 MWh/a
Rakennuksen lämpöindeksi (normeerattu) (2007-2015 tiedoilla)		35,39 kWh/m ³ a
Lämmityksen lämmönsiirrin		
Q _{ls} = Lämmityksen energiantuotto (2007-2015 tiedoilla) =		380,60 MWh
Φ _{ls} = Lämmönsiirtimen teho (2007-2015 tiedoilla) =		175,84 kW
Ominaistehon suuruusluokka (rakennustilavuus) (2007-2015 tiedoilla) =		10,92 W/m ³
Ominaistehon suuruusluokka (huoneistotilavuus) (2007-2015 tiedoilla) =		16,95 W/m ³

KUVA 9. Ohjelman laskemia tietoja energiankulutuksesta

Linjasaneerauskohteessa lämmityksen lämmönsiirtimen tehon voi pyöristää esimerkiksi seuraavaan tasakymmeneen. Näin saadaan mitoitusvarmuutta.

Kaikkiin esimerkkikohteen 70 asunnon kylpyhuoneisiin suunniteltiin käyttövesipatterit. Näiden käyttövesipattereiden vaatima teho lasketaan mukaan kaukolämpövesivirtaa määrittäessä (kuva 10).

Käyttövesipattereiden käyttämä teho		
Käyttövesipatterin teho =	80 W	Syötä käsin
Asuntojen lukumäärä =	70 kpl	
Φ =	5600 W	
Φ _{laskenta} =	6 kW	Syötä käsin
	8760 h/vuosi	
Q _{lkv,pat} =	49,06 MWh/a	
Kaukolämpövesivirta		
Φ _{kl} = Φ _{ls} + Φ _{lkv,pat} =	186 kW	
ΔT (115-63 C) =	52 C	Syötä käsin
C _p (~90 C) =	4,206 kJ/kgC	Syötä käsin
ρ (~90 C) =	0,96531 kg/l	Syötä käsin
V =	0,881 l/s	

KUVA 10. Käyttövesipattereiden teho ja kaukolämpövesivirta

Esimerkkikohteen nykyinen kaukolämpövesivirta on 1,2 l/s. Uusi, tarkistettu kaukolämpövesivirta on yli 25 % vähemmän. Pienenevä kaukolämpövesivirta tuo taloyhtiölle säästöä pienentyneen kaukolämmityksen vuotuisen perusmaksun muodossa.

6 TULOKSET

6.1 Lämpöhäviöt

Opinnäytetyötä tehtäessä selvisi, että lämpöhäviöitä on 1900-luvun alussa osattu laskea ainakin suuntaa antavasti, sillä suuria heittoja ei radiaattoreiden lämmönluovutustehoissa ollut teoreettisiin lämpöhäviöihin nähden (jos huomioon ei oteta vuotoilman aiheuttavaa lämpöhäviön määrää). Vuotoilman aiheuttama lämpöhäviön määrä riippuu sekin suuresti, otetaanko se huomioon nykyisellä q_{50} -ilmanvuotoluvulla, vai vanhalla n_{50} -ilmanvuotoluvulla. Opinnäytetyön esimerkkikohteen rakennusaikana vuotoilman aiheuttamia lämpöhäviöitä ei todennäköisesti ole otettu huomioon lainkaan.

Ensimmäisen kerran rakentamismääräyskokoelmissa vuotoilman lämmitykseen tarvitsemasta energiasta on maininta vuoden 1985 määräyksissä. Nykymääräysten mukaan (q_{50} -luvulla) laskettuna opinnäytetyön esimerkkikohteen vuotoilman lämmittämiseen vaadittu lämpöenergian määrä on yhtälöiden 10 ja 11 mukaan 64,3 kW. Vuoden 1985 määräysten mukaan (n_{50} -luvulla) laskettuna vaadittu lämpöenergian määrä on yhtälöiden 10 ja 12 mukaan 50,4 kW. Uusien määräysten mukaan laskettuna vuotoilman lämmittämiseen vaaditun lämpöenergian määrä on siis yli 20 % suurempi, kuin vanhojen määräysten mukaan laskettuna. Vuoden 1985 määräysten mukaan vuotoilmavirta lasketaan seuraavalla yhtälöllä 12 [38, s. 4]:

$$q_{v,vuotoilma} = n_v * V_r / 3600 \quad (12)$$

jossa $q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirran määrä, n_v on vuotoilman vaihtuvuus, V_r on rakennuksen rakennustilavuus ja 3600 on kerroin, joka muuttaa ilmavirran haluttuun yksikköön. Tällä tavalla laskettaessa opinnäytetyön esimerkkikohteessa vuotoilmavirraksi tulee 0,89 m³/s (yhtälö 12). Nykymääräysten mukaan laskettaessa vuotoilmavirraksi tulee 1,14 m³/s (yhtälö 11).

Tämä vertailu näiden kahden ilmanvuotoluvun välillä tarkoittaa lähinnä sitä, että vanhojen asuinkerrostalojen radiaattorit ovat useimmiten lämmönluovutustehoiltaan liian

pieniä todellisten lämpöhäviöiden määrään nähden – vuotoilman aiheuttamia lämpöhäviöitä ei ole huomioitu lainkaan tai ne on arvioitu liian pieniksi. Liitteessä 3 on esitetty esimerkkikohteen erään ylimmän kerroksen asuinhuoneiston makuu-/olohuonetilan lämpöhäviötiedot q_{50} -ilmanvuotoluvulla huomioituna, n_{50} -ilmanvuotoluvulla huomioituna sekä kun vuotoilma on jätetty huomioimatta.

Lämpöhäviöiden määrää tiloissa on arvioitu aikoinaan todennäköisesti lähtökohtaisesti ulkoseinän pituuden ja muiden ulkoilman vastaisten rakennusosien pinta-alojen perusteella. Esimerkiksi Oraksella on aikoinaan ollut lämpöhäviöiden laskentaa varten erityinen kalvo, jota piirustusten päälle mallailemalla on voitu laskea tilan lämpöhäviöitä (liite 4).

Opinnäytetyön esimerkkikohteen ja työn teettäneen yrityksen parin muun aiemman linjasaneerauskohteen perusteella ylimpään kerrokseen on alun perin valittu lämmönluovutusteholtaan noin 30–40 % tehokkaampi radiaattori kuin välikerrokseen. Usein ylimmässäkään kerroksessa ei radiaattoreiden lämmönluovutusteholla pystytäkään täyttämään lämpöhäviöiden määrää, joka useimmissa tapauksissa on yli 40 % enemmän kuin välikerroksissa.

Opinnäytetyön esimerkkikohteen rakennusosien lämmönläpäisykertoimien eli U-arvojen arviointi voidaan katsoa osuneen kutakuinkin oikeaan, sillä ominaistehon suuruusluokaksi rakennuksen huoneistotilavuuteen verrattuna sekä kaukolämmön todellisten kulutustietojen että suunnitteluohjelmalla laskettujen lämpöhäviöiden perusteella tuli 17 W/m^3 .

6.2 Vanhan asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantaminen

6.2.1 Ulkoseinät

Rakennuksen vaipasta suurimman osan muodostavat ulkoseinät, joten niiden lisäeristäminen on tehokas vaihtoehto asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantamiseksi [20, s. 21]. Vanhojen, 1900-luvun alun, asuinkerrostalojen kohdalla tämä on kuitenkin usein mahdottomuus, sillä ulkoseinien lisäeristäminen ulkopuolelta vaikuttaa luonnollisesti rakennuksen arkkitehtuuriseen ilmeeseen, josta harvoin ollaan valmiita luopumaan. Sisäpuolinen lisäeristäminen taas pienentäisi asuineliöiden määrää.

6.2.2 Yläpohja

Vanhoissa asuinkerrostaloissa energiatehokkutta voi helposti parantaa yläpohjan lisäeristyksellä. Rakennuksen yläpohja aiheuttaa suuren osan rakennuksen lämpöhäviöistä, sillä lämmin, kevyt ilma nousee rakennuksen yläosaan poistuen yläpohjan kautta ulkoilmaan. Vanhojen asuinkerrostalojen ullakollisen yläpohjan lisäeristäminen yläpuolelta on lisäeristysprojekteista helpoimpia ja kustannustehokkaimpia [20, s. 27]. Lisäeristysen voi esimerkiksi puhaltaa suoraan palopermannon päälle, mikäli tilan käyttötarkoitus sen mahdollistaa [39, s. 11]. Useimmiten asuinkerrostalojen ullakkotiloissa on kuitenkin asukkaiden varastotiloja, jolloin yläpohjan yläpuolinen lisäeristäminen ei ole niin yksinkertaista. Käytännössä rakennesuunnittelija selvittää kullekin saneerauskohteelle parhaan ja energiatehokkaimman lisäeristysmenetelmän muun muassa palomääräykset huomioiden.

6.2.3 Ikkunat

Ikkunoiden kokonaispinta-ala asuinkerrostalossa on noin 10–15 % ulkoseinien pinta-alasta [20, s. 28]. Pienestä osuudesta huolimatta ikkunoiden aiheuttamat lämpöhäviöt voivat olla samaa luokkaa ulkoseinien kanssa [20, s. 28]. Lisäksi huonokuntoiset, huonosti tiivistetyt ikkunat aiheuttavat vedon tunnetta. Asukas useimmiten lisää radiaattorin lämmitystehoa vedon tunteen poistamiseksi, joka luonnollisesti näkyy lämmityskuluissa. Vanhojen asuinkerrostalojen ikkunoiden uusimisella tai tiivistämisellä voi olla energiankulutukseen selkeä vaikutus, kun huonelämpötilaa voidaan laskea asuinviihtyvyyden kärsimättä [40].

Ikkunoiden uusiminen tai kunnostaminen kannattaa ajoittaa rakennuksen ilmanvaihdon kunnostuksen yhteyteen. Ilmanvaihdon kunnostus kuuluu yleensä osana linjasaneerausprojektia. Huonosti tiivistetyt ikkunat ovat toimineet hallitsemattomina korvausilma-ritteinä, joten korvausilman pääsy asuntoon tulee varmistaa hallittuja reittejä pitkin (korvausilmaventtiilit).

6.2.4 Lämpöjohtoverkoston tasapainotus eli perussäätö

Epätasapainoinen lämmitysjärjestelmä jakaa lämpöenergiaa rakennukseen epätasaisesti ja useimmiten aiheuttaa lisäkustannuksia energiankulutukseen. Lämpöjohtoverkoston

tasapainotuksen eli perussäädön avulla varmistetaan, että vesi kiertää vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä jokaisen radiaattorin kautta ja luovuttaa lämpötehoa tiloihin tasaisesti. Perussäädöllä voidaan Motivan mukaan saavuttaa parhaimmillaan 10–15 prosentin säästö rakennuksen energiankulutuksessa. Motivan arvion mukaan Suomessa kolme neljästä asuinrakennuksesta kaipaisi lämmitysjärjestelmän perussäätöä. Lämmitysjärjestelmän perussäätö tulisi tehdä aina, kun rakennuksen lämmitysjärjestelmään tai energiatehokkuuteen esimerkiksi ikkunaremontin kautta tehdään muutoksia. Linjasaneerausprojekteihin perussäätö kuuluu siis olennaisesti. [41.]

6.3 Excel-ohjelma lämmönjakokeskuksen mitoittamiseen

Osana opinnäytetyötä tehtiin Excel-pohjainen laskentaohjelma yksinkertaistamaan lämmönjakokeskuksen mitoittamista linjasaneerauskohteissa. Ohjelma perustuu Energiateollisuuden julkaisun K1/2013 määräyksiin ja ohjeisiin.

Ohjelma laskee lämmityksen lämmönsiirtimen tehon kaukolämmöntoimittajalta saatujen rakennuksen todellisten kulutustietojen perusteella. Kuvakaappauksia ohjelmasta on esitetty liitteessä 5.

6.4 Excel-ohjelma tilan lämpöhäviöiden arviointiin

Lämmönjakokeskuksen mitoittamista helpottavan ohjelman lisäksi opinnäytetyön osana tehtiin myös Excel-pohjainen laskentaohjelma lämpöhäviöiden arviointiin tilassa. Ohjelma perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 määräyksiin lämpöhäviöiden laskemisesta. Ohjelma on tehty helpottamaan yksittäisten tilojen lämpöhäviöiden tarkastamista. Usein lämmitysjärjestelmäsunnittelussa tulee tilanteita, jossa yhden tilan lämpöhäviöt tulee tarkastaa ja vain sitä varten lämpöhäviötietojen perustaminen suunnitteluohjelmaan on liikaa aikaa vievä prosessi.

Mikäli projektissa on kuitenkin tarpeen laskea esimerkiksi koko rakennuksen lämpöhäviöt, Excel-ohjelmaa voi käyttää rakennusosien suunnittelussa käytettävien lämmönläpäisykertoimien eli U-arvojen tarkastamiseen, jossa ne ovat nopeasti nähtävissä. Kuvakaappauksia ohjelmasta on esitetty liitteessä 6.

Opinnäytetyön esimerkkikohteessa rakennuksen lounasta vasten sijaitsevilla nurkka-huoneissa radiaattorin teho on huomattavasti suurempi, kuin muissa rakennuksen vastaavissa nurkka-huoneissa. Tämä johtunee siitä, että viereinen talo on valmistunut vasta myöhemmin – lämpöhäviöt seinän läpi ovat olleet esimerkkikohteen rakennusaikana huomattavasti suuremmat. Excel-ohjelmalla voi esimerkiksi tällaisen tilan lämpöhäviön tarkastaa nopeasti, jotta lämmitysjärjestelmän mitoitus varten saadaan todenmukaisia arvoja.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa aineisto helpottamaan linjasaneerauskohteiden lämmitysjärjestelmäsunnittelua. Helppoa linjasaneeruskohdetta ei liene olemassakaan, mutta tämän opinnäytetyön ja sen tulosten avulla lämmitysjärjestelmäsunnittelun lähtökohdat linjasaneerauskohteessa ovat jo huomattavasti paremmat.

Jokainen linjasaneeruskohde, etenkin kun puhutaan viime vuosisadan alun rakennuksista, on oma tapauksensa, eikä erityistä suunnittelun malliratkaisua ole mahdollista määrittää. Onnistuneen suunnittelun takana ovat aina kattavat pohjatiedot linjasaneerauskohteesta sekä perinpohjainen perehtyminen rakennukseen ja sen tekniikkaan muun muassa perusteellisten kiinteistökierröksen tutkimusten avulla.

Opinnäytetyön tuloksena selvisi, että vanhojen asuinkerrostalojen lämpöhäviöt ovat lähes poikkeuksetta rakennuksen radiaattoreiden lämmönluovutustehoja suuremmat. Tämä johtuu lähinnä siitä, että näiden rakennusten rakennusaikana vuotoilman aiheuttamia lämpöhäviöitä ei olla osattu huomioida riittävästi.

Sen sijaan, että näitä lämpöhäviöitä alettaisiin kattamaan esimerkiksi asentamalla lisää radiaattoreita asuntoihin, lämpöhäviöiden määrää tulisi pyrkiä vähentämään ensisijaisesti rakennusteknisin muutoksin, kuten ikkunoiden uusimisella tai kunnostamisella tai rakennuksen yläpohjan lisäeristämällä. Nykyaikaisten radiaattoreiden lisääminen vanhoihin rakennuksiin alkuperäisten radiaattoreiden rinnalle on arkkitehtuurisestakin näkökulmasta katsottuna ongelmallista. Rakennustekniset muutokset lämpöhäviöiden vähentämiseksi ovat pitkällä tähtäimellä sekä taloudellisesti että asumisviihtyvyyden kannalta paras ratkaisu.

Opinnäytetyötä tehdessä nousi luonnollisesti esiin asioita aiheeseen liittyen, joista olisi hyödyllistä saada tutkittua tietoa. Hyödyllinen tutkimuksen aihe olisi esimerkiksi selvittää lämpöjohtoihin ja radiaattoreihin ajan saatossa kertyvän sakan vaikutus radiaattoreiden lämmönluovutuskykyyn ja lämmitysjärjestelmän toimintaan.

Opinnäytetyön tuloksena tuotettu aineisto tulee helpottamaan lämmitysjärjestelmäsuunnittelua työn toimeksiantajan linjasaneeraussuunnitteluprojekteissa. Esimerkiksi opinnäytetyön esimerkkikohteen lisäksi lämmönjakokeskuksen mitoittamiseen laadittua Excel-ohjelmaa on jo hyödynnetty opinnäytetyön valmistuessa kahdessa muussakin projektissa.

LÄHTEET

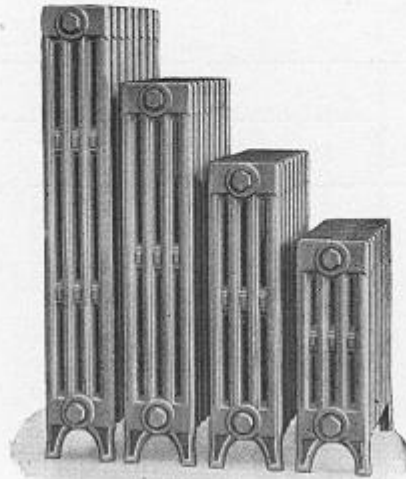
1. Etelä-Suomen Sanomat. Lähiöt on korjattava nyt, remonttien arvo ohitti jo uudisrakentamisen. Uutinen. <http://www.ess.fi/uutiset/kotimaa/2014/04/10/la-hiot-on-korjattava-nyt-remonttien-arvo-ohitti-jo-uudisrakentamisen>. Päivitetty 10.4.2014. Viitattu 26.11.2016.
2. Neuvonen, Petri (toim.) 2006. Kerrostalot 1880-2000. Tampere: Tammer-Paino Oy.
3. Karjalainen, Jyrki 1995. Vesi- ja viemäriputkistojen kuntoarvio. Joutsa: Nettopaino Oy.
4. Rakennustietosäätiö RTS. RT 18-10813. PDF-dokumentti. Julkaistu 12/2003. Viitattu 16.10.2016.
5. Rinne, Hannu. Vanha talo ja lämmitystekniikka. WWW-dokumentti. <http://www.perinnemestari.fi/?id=66&id2=88>. Päivitetty 15.6.2009. Viitattu 14.10.2016.
6. Olenius, Auli. Linjasaneerauksen menetelmät. PDF-dokumentti. Ei julkaisutietoa. Viitattu 16.10.2016.
7. Ympäristöministeriö. Linjasaneerauksen vaiheet ja valvonta. WWW-dokumentti 10.6.2016. <http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiot/Korjaushankkeet/Talotekniikka/Putkiremontit>. Päivitetty 17.11.2016. Viitattu 26.11.2016.
8. Seppänen, Olli (toim.) 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.
9. Rakennustietosäätiö RTS. RT-18-11004. PDF-dokumentti. Julkaistu 8/2010. Viitattu 16.10.2016.
10. Aalto-yliopisto. Rakennushankkeen vaiheet ja osapuolet. WWW-dokumentti. http://arkit.tkk.fi/kurssit/A91181/rakennushankkeen_vaiheet.htm. Päivitetty 20.09.2005. Viitattu 23.10.2016.
11. Taloyhtio.net. Korjaushankkeen vaiheet. WWW-dokumentti. <http://www.taloyhtio.net/korjausjaremontointi/toteutus/vaiheet/>. Ei päivitystietoa. Viitattu 23.10.2016.
12. Google. Street View. Päivitetty 10/2011. Viitattu 21.10.2016.
13. Talokeskus Oy. Hankesuunnitelma 2014. PDF-dokumentti. Viitattu 26.11.2016.
14. Harju, Pentti 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Anjalankoski: Solverpalvelut Oy.

15. Suomen Vuototekniikka Oy. LVV-kuntotutkimus 2014. PDF-dokumentti. Viitattu 26.11.2016.
16. Högforsin Tehdas Osakeyhtiö. Vesi- ja lämpöjohtotarpeita 1932. PDF-dokumentti. Viitattu 26.11.2016.
17. Rakennuskonsultointi Treuthardt Oy. Kiinteistön ikkunoiden tarkastus, lausunto ja kustannusarvio 2014. PDF-dokumentti. Viitattu 26.11.2016.
18. Talokeskus Oy. Osakaskyselyn tulokset 2014. PDF-dokumentti. Viitattu 26.11.2016.
19. Seppänen, Olli & Seppänen, Matti 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-teknikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
20. Holopainen, Riikka, Hekkanen, Martti, Hemmilä, Kari & Norvasuo, Markku 2007. Suomalaisten rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentiaali. VTT Technical Research Centre of Finland. PDF-dokumentti. Viitattu 26.11.2016.
21. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Helsingin ympäristön tila: teemakatsaus 1/2008. PDF-dokumentti. Viitattu 16.10.2016.
22. Suomela.fi. Tiilitalossa asutaan energiatehokkaasti. WWW-dokumentti. <http://www.suomela.fi/Arkisto/Rakennusmateriaalit-rakentaminen/Tiilitalossa-asutaan-energiatehokkaasti-57802>. Päivitetty 21.9.2011. Viitattu 21.10.2016.
23. Ilmatieteen laitos. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. WWW-dokumentti. <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Päivitetty 20.1.2014. Viitattu 15.10.16.
24. Pohjois-Suomen Kiinteistöyhdistys ry. Lämmitystarveluku, lämpöindeksi ja muuta termistöä. PDF-dokumentti. Ei julkaisutietoa. Viitattu 15.10.2016.
25. Energiatoimikunta ry. Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2013. PDF-dokumentti. Viitattu 6.11.2016.
26. Oulun rakennusvalvonta. Tiiveyskorjaus. PDF-dokumentti. Julkaistu 2/2013. Viitattu 23.10.2016.
27. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta, liite 1 (176/2013). PDF-dokumentti. Viitattu 22.10.2016.
28. Työterveyslaitos. Arvorakennusten käytettävyys ja hyvät korjauskäytännöt. PDF-dokumentti. Viitattu 23.10.2016.
29. Ympäristöministeriö. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ohjeet 2012. PDF-dokumentti. Viitattu 28.10.2016.
30. Seppänen, Olli 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solverpalvelut Oy.

31. Seppänen, Kim 2010. Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli. Itä-Suomen yliopisto, Koulutus ja kehittämispalvelu Aducate. PDF-dokumentti. Viitattu 26.11.2016.
32. VTT Technical Research Centre of Finland. Tutkimusselostus 2001. Ulkoilma-venttiili Velco VT-100. PDF-dokumentti. Viitattu 6.11.2016.
33. Ympäristöministeriö. Energiatodistusopas 2016, liite. Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. PDF-dokumentti. Viitattu 22.10.2016.
34. Böök, Netta & Mikkola, Juulia 2011. Ikkunakirja. Vantaa: Kustannusosakeyhtiö Moreeni.
35. Ympäristöministeriö. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ohjeet 2003. PDF-dokumentti. Viitattu 22.10.2016
36. Ympäristöministeriö. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Luonnos 2012. PDF-dokumentti. Viitattu 22.10.2016.
37. Keratam Oy. Lämpörappaus, U-arvo ja rakennuksen energiansäästö. WWW-dokumentti. http://www.keratam.fi/?page_id=134&lang=fi. Ei päivitystietoa. Viitattu 10.12.2016.
38. Ympäristöministeriö. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ohjeet 1985. PDF-dokumentti. Viitattu 4.11.2016.
39. Museovirasto. Lämmöneristyksen parantaminen. PDF-dokumentti. Julkaistu 1/2000. Viitattu 5.11.2016.
40. Energiahukka.fi. Ikkunoiden ja ovien tiivistys. WWW-dokumentti. <http://enerгияhukka.fi/hukkajahti/etusivu/kerrostalo-vesikiertoinen-lammitys/ikkunoiden-ja-ovien-tiivistys/>. Ei päivitystietoa. Viitattu 5.11.2016.
41. Motiva Oy. Patteriverkoston perussäätö. WWW-dokumentti. http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt/patteriverkoston_perussaato. Päivitetty 28.7.2016. Viitattu 20.11.2016.
42. Högforsin Tehdas Osakeyhtiö. Vesi- ja lämpöjohtotarpeita 1938. PDF-dokumentti. Viitattu 2.12.2016.
43. Suomen Terveysilma Oy. Velco-venttiilien tekniset tiedot. PDF-dokumentti. Viitattu 2.12.2016.

HÖGFORSIN TEHDAS OSAKEYHTIÖ

SIRO-radiaattoreita
vettä tai höyryä varten.

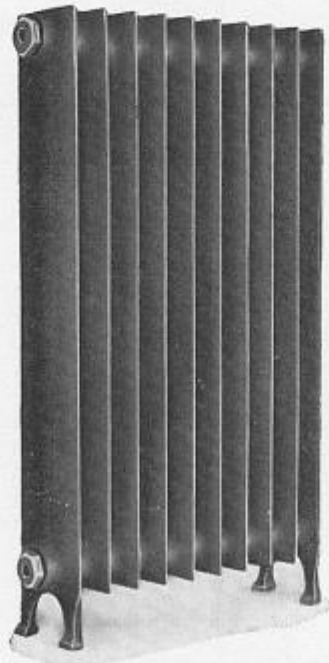


Liitteet yhdistetään 1 1/4" vasen- ja oikeakierteisillä nippeleillä. Toimitetaan jaloilla tai ilman. Sekä liitteet erikseen että valmiit patterit koetellaan tehtaassa 6 ilmakehän kylmävesipaineella.

Kun pattereita tilataan höyrylämmityslaitoksiin, on siitä erikseen mainittava. Tällöin tehdään patterit klingeriittitiivisteillä, joista veloitetaan lisähinta.

Kokonaiskorkeus m/m	460		605		760		910	
Pylväiden luku	4	6	4	6	4	6	4	6
Paino per m ² /kg	31	30	30	30	30	30	30	30
Vesimäärä per m ² /ltr ..	4.0	3.8	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4	3.4

H Ö G F O R S I N T E H D A S O S A K E Y H T I Ö

**TEHO-radiaattoreita
vettä tai höyryä varten.**

Teho-radiaattorien erikoisetu on niiden sileä ja tehokas lämpöpinta. Ne on helppo pitää puhtaina. Ulkomuodoltaan ne ovat kauniita ja ajanmukaisiin sisustustyyleihin sopivia. Kun pattereita tilataan höyrylämmityslaitoksiin, on siitä erikseen mainittava. Tällöin tehdään patterit klingeriittitiivisteillä, joista veloitetaan lisähinta.

Kokonaiskork. m/m	470		620		900	
Pylväiden luku	I	II	I	II	I	II
Paino per m ² /kg.	31	27	29	26	29	28
Vesimäärä per m ² /ltr ...	4.1	3.7	3.6	3.9	4.0	3.5

KUPUTUSKESKUS KÄSISÄLÄITTO

RADIAATTOREITA KESTO

INSINCORIOSASTO RADIATORER KESTO

No 1631

Rakennepaino 3,5 ily Koepaino 3,5 ily
Konstruktionstryck 3,5 atö Provetryck 3,5 atö

No 1632

Rakennepaino 6,0 ily Koepaino 9,0 ily
Konstruktionstryck 6,0 atö Provetryck 9,0 atö

Mittataulukko

Mittatabeli

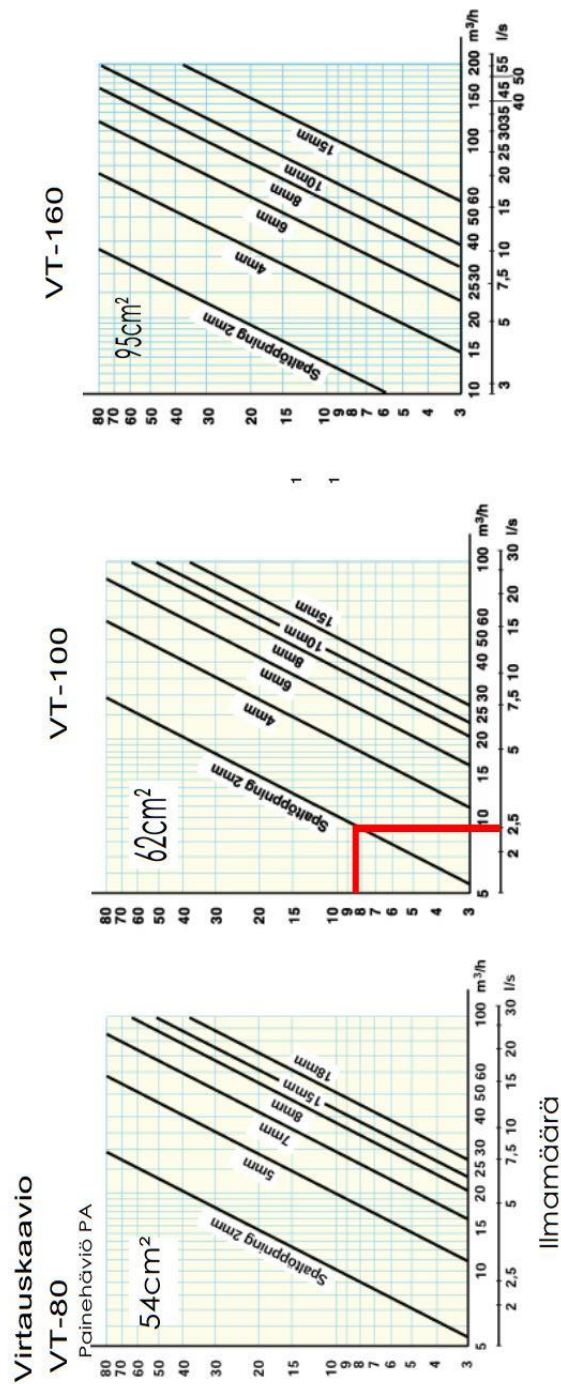
Merkki Märke	A mm	B mm	C mm	D mm	Vesitila l/m ³ Vatten- volym	Paino kg/m ³ Vikt	
						No 1631	No 1632
420-50	410	355	50	25	2,3	-	12,3
300-75	280	195	75	30	3,6	11,0	12,3
450-75	440	355	75	30	3,6	11,0	12,3
600-75	590	505	75	30	3,6	11,0	12,3
950-75	940	855	75	30	3,6	11,0	12,3
300-115	280	195	115	30	4,0	11,0	12,3
450-115	440	355	115	30	4,0	11,0	12,3
600-115	590	505	115	30	4,0	11,0	12,3
950-115	940	855	115	30	4,0	11,0	12,3

Lisäosien Antal sektioner	420-50		Pituus mm Längd	Halli 75 Modell			
	Pituus mm Längd	Lämpöpinta m ² Värmeys		Lämpöpinta m ² Värmeys			
				300-75	450-75	600-75	950-75
1	180	0,05	40	0,05	0,07	0,10	0,16
2	360	0,10	80	0,10	0,14	0,20	0,32
3	540	0,15	120	0,15	0,21	0,30	0,48
4	720	0,20	160	0,20	0,28	0,40	0,64
5	900	0,25	200	0,25	0,35	0,50	0,80
6	1080	0,30	240	0,30	0,42	0,60	0,96
7	1260	0,35	280	0,35	0,49	0,70	1,12
8	1440	0,40	320	0,40	0,56	0,80	1,28
9	1620	0,45	360	0,45	0,63	0,90	1,44
10	1800	0,50	400	0,50	0,70	1,00	1,60
11	2160	0,55	440	0,55	0,77	1,10	1,76
12	2340	0,60	480	0,60	0,84	1,20	1,92
13	2520	0,65	520	0,65	0,91	1,30	2,08
14	2700	0,70	560	0,70	0,98	1,40	2,24
15	2880	0,75	600	0,75	1,05	1,50	2,40
16	3240	0,80	640	0,80	1,12	1,60	2,56
17	3420	0,85	680	0,85	1,19	1,70	2,72
18	3600	0,90	720	0,90	1,26	1,80	2,88
19	3780	0,95	760	0,95	1,33	1,90	3,04
20	4080	1,00	800	1,00	1,40	2,00	3,20
21	4320	1,05	840	1,05	1,47	2,10	3,36
22	4560	1,10	880	1,10	1,54	2,20	3,52
23	4800	1,15	920	1,15	1,61	2,30	3,68
24	5040	1,20	960	1,20	1,68	2,40	3,84
25	5400	1,25	1000	1,25	1,75	2,50	4,00
26	5760	1,30	1040	1,30	1,82	2,60	4,16
27	6120	1,35	1080	1,35	1,89	2,70	4,32
28	6480	1,40	1120	1,40	1,96	2,80	4,48
29	6840	1,45	1160	1,45	2,03	2,90	4,64
30	7200	1,50	1200	1,50	2,10	3,00	4,80
31	7560	1,55	1240	1,55	2,17	3,10	4,96
32	7920	1,60	1280	1,60	2,24	3,20	5,12
33	8280	1,65	1320	1,65	2,31	3,30	5,28
34	8640	1,70	1360	1,70	2,38	3,40	5,44
35	9000	1,75	1400	1,75	2,45	3,50	5,60
36	9360	1,80	1440	1,80	2,52	3,60	5,76

Lisäosien Antal sektioner	Pituus mm Längd	Lämpöpinta m ² Värmeys			
		300-115	450-115	600-115	950-115
1	45	0,065	0,11	0,15	0,24
2	90	0,130	0,22	0,30	0,48
3	135	0,195	0,33	0,45	0,72
4	180	0,260	0,44	0,60	0,96
5	225	0,325	0,55	0,75	1,20
6	270	0,390	0,66	0,90	1,44
7	315	0,455	0,77	1,05	1,68
8	360	0,520	0,88	1,20	1,92
9	405	0,585	0,99	1,35	2,16
10	450	0,650	1,10	1,50	2,40
11	495	0,715	1,21	1,65	2,64
12	540	0,780	1,32	1,80	2,88
13	585	0,845	1,43	1,95	3,12
14	630	0,910	1,54	2,10	3,36
15	675	0,975	1,65	2,25	3,60
16	720	1,040	1,76	2,40	3,84
17	765	1,105	1,87	2,55	4,08
18	810	1,170	1,98	2,70	4,32
19	855	1,235	2,09	2,85	4,56
20	900	1,300	2,20	3,00	4,80
21	945	1,365	2,31	3,15	5,04
22	990	1,430	2,42	3,30	5,28
23	1035	1,495	2,53	3,45	5,52
24	1080	1,560	2,64	3,60	5,76
25	1125	1,625	2,75	3,75	6,00
26	1170	1,690	2,86	3,90	6,24
27	1215	1,755	2,97	4,05	6,48
28	1260	1,820	3,08	4,20	6,72
29	1305	1,885	3,19	4,35	6,96
30	1350	1,950	3,30	4,50	7,20
31	1395	2,015	3,41	4,65	7,44
32	1440	2,080	3,52	4,80	7,68

Valurautainen Kesto-radiaattori tuntemattomaksi jääneestä esitteestä

Velco VT-100 -korvausilmaventtiilin virtauskaavio



Velco-venttiilin virtauskaavio [43]

Korostettuna tässä opinnäytetyössä käytetty ilmamäärä 2,5 l/s noin ~9 Pascalin paine-erolla.

Lämpöhäviövertailu

NYKYMÄÄRÄYSTEN MUKAAN LASKETTUNA (q50)

TILAN PERUSTIEDOT

N:o	Nimitys	m ²	m ³	Korkeus (m)	Sisä (°C)	Ulko (°C)
	20 MH		21,5	64	3	21
						-26

TILAN LÄMPÖHÄVIÖTIEDOT

IKKUNA/OVI	Leveys(m)	Korkeus(m)	U W/(m ² °C)	dt	P(W)	
Ikkuna	1,4	1,7	2,5		47	284
SEINÄ	Ala (m ²)	Paksuus (mm)	U W/(m ² °C)	dt	P (W)	
Ulkoseinä	8,7	600	0,85		47	346
YLÄPOHJA	Ala (m ²)		U W/(m ² °C)	dt	P (W)	
Ulkoilmaa vasten	21,3		0,5		47	500
TULOILMA	l/s			dt	P (W)	
	2,5				45	133
VUOTOILMA	m ³		q50 (m ³ /(h m ²))	dt	P (W)	
	63,8		19,4		47	643
YHTEISLÄMPÖHÄVIÖ	Kerroin		W/m ²	W/m ³	W	
	1		88,6		29,8	1905

V. 1985 MÄÄRÄYSTEN MUKAAN LASKETTUNA (n50)

TILAN PERUSTIEDOT

N:o	Nimitys	m ²	m ³	Korkeus (m)	Sisä (°C)	Ulko (°C)
	20 MH		21,5	64	3	21
						-26

TILAN LÄMPÖHÄVIÖTIEDOT

IKKUNA/OVI	Leveys(m)	Korkeus(m)	U W/(m ² °C)	dt	P(W)	
Ikkuna	1,4	1,7	2,5		47	284
SEINÄ	Ala (m ²)	Paksuus (mm)	U W/(m ² °C)	dt	P (W)	
Ulkoseinä	8,7	600	0,85		47	346
YLÄPOHJA	Ala (m ²)		U W/(m ² °C)	dt	P (W)	
Ulkoilmaa vasten	21,3		0,5		47	500
TULOILMA	l/s			dt	P (W)	
	2,5				45	133
VUOTOILMA	m ³		Kerroin (1/h)	dt	P (W)	
	63,8		0,24		47	235
YHTEISLÄMPÖHÄVIÖ	Kerroin		W/m ²	W/m ³	W	
	1		69,7		23,4	1498

ILMAN VUOTOILMAN AIHEUTTAMAA LÄMPÖHÄVIÖTÄ

TILAN PERUSTIEDOT

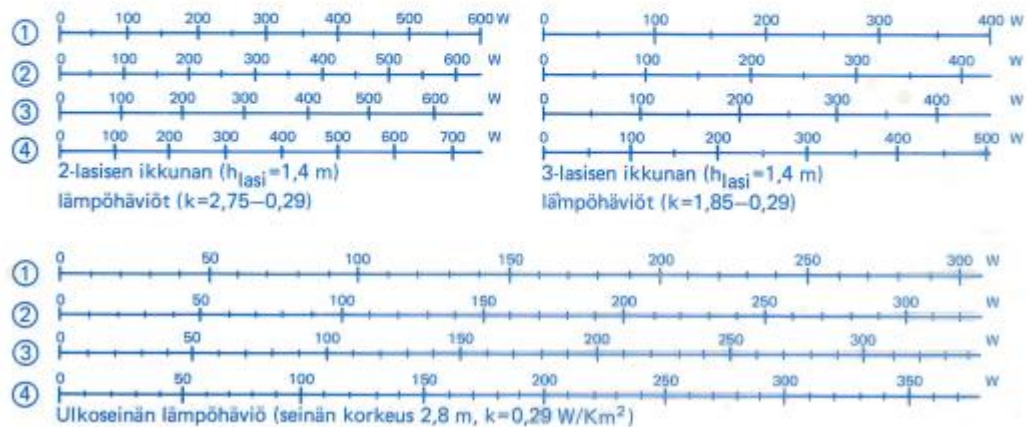
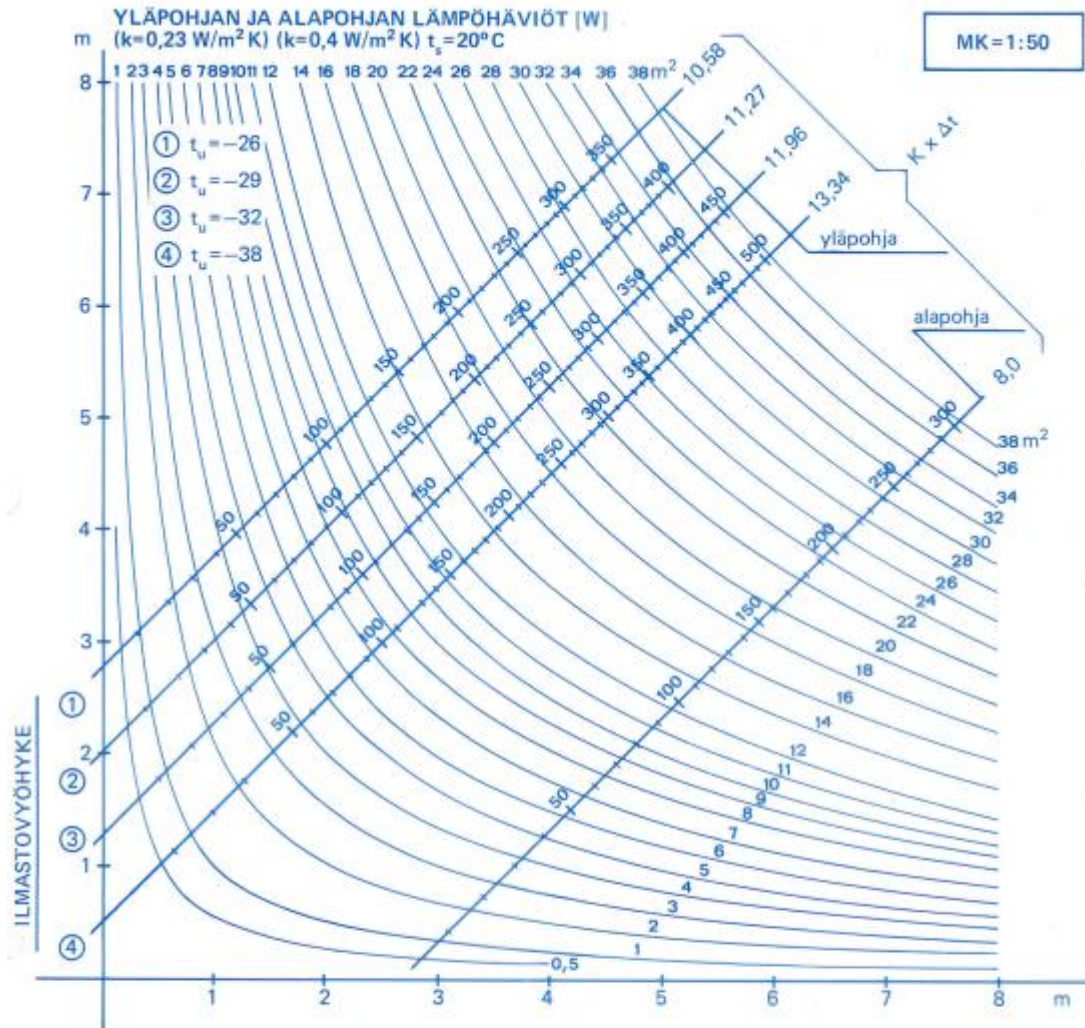
N:o	Nimitys	m ²	m ³	Korkeus (m)	Sisä (°C)	Ulko (°C)
	20 MH		21,5	64	3	21
						-26

TILAN LÄMPÖHÄVIÖTIEDOT

IKKUNA/OVI	Leveys(m)	Korkeus(m)	U W/(m ² °C)	dt	P(W)	
Ikkuna	1,4	1,7	2,5		47	284
SEINÄ	Ala (m ²)	Paksuus (mm)	U W/(m ² °C)	dt	P (W)	
Ulkoseinä	8,7	600	0,85		47	346
YLÄPOHJA	Ala (m ²)		U W/(m ² °C)	dt	P (W)	
Ulkoilmaa vasten	21,3		0,5		47	500
TULOILMA	l/s			dt	P (W)	
	2,5				45	133
YHTEISLÄMPÖHÄVIÖ	Kerroin		W/m ²	W/m ³	W	
	1		58,7		19,7	1262

Erään ylimmän kerroksen asuinhuonetilan lämpöhäviötiedot

Tilassa on radiaattori, jonka lämmönluovutusteho sisälämpötilassa 21 °C on 1305 W.



Oraksen kalvo lämpöhäviöiden laskentaa varten

Kalvoa piirustusten päälle mallailemalla on laskettu tilan lämpöhäviöitä.

Lämmönjakokeskuksen mitoitus, Excel-ohjelma

Lämmönjakokeskuksen mitoitus

Kohde:							
	Rakennustilavuus =			0	m3	Syötä käsin	
	Huoneistoala =			0	m2	Syötä käsin	
	Huonekorkeus =			0	m	Syötä käsin	
	Huoneistotilavuus (h.ala x h.korkeus) =			0	m3		
	Asuntojen ja liiketilojen lukumäärä =			0	kpl	Syötä käsin	
	Kiinteistössä käytettävissä oleva paine-ero =			0	kPa	Syötä käsin	
	H = Lämmityshuipun käyttöaika (1981-2010) =				2164,5	h	
	Qkv = Käyttöveden lämmityksen energiankulutus = (laskupohjana heinäkuut 2007-2015)				0,00	MWh/a	
	Rakennuksen lämpöindeksi (normeerattu) (2007-2015 tiedoilla)				#JAKO/0!	kWh/m3	
	Lämmityksen lämmönsiirrin						
	Ql = Lämmityksen energiankulutus (2007-2015 tiedoilla) =				0,00	MWh	
	Φmit = Lämmönsiirtimen teho (2007-2015 tiedoilla) =				0,00	kW	
	Ominaistehon suuruusluokka (2007-2015 tiedoilla) =				#JAKO/0!	W/m3	
	Ominaistehon suuruusluokka (huoneistotilavuus) (2007-2015 tiedoilla) =				#JAKO/0!	W/m3	

Aluksi ohjelmaan syötetään joitain perustietoja saneerauskohteesta

Lämmityshuipun käyttöaika on laskettu Helsingin mukaan.

Lämmönjakokeskuksen mitoitus, Excel-ohjelma

Kaukolämmön kulutus				
	normeerattu	normeerattu	normeerattu käyttö (MWh) laskettu	
	käyttö (MWh/a)	käyttö (kWh/m3)	käyttö (MWh/a)	Helenin Vertaile-väilehden avulla
2007	0	0	0,00	(normeerattu käyttö x rakennustilavuus)
2008	0	0	0,00	
2009	0	0	0,00	
2010	0	0	0,00	
2011	0	0	0,00	Tiedot HELENiltä
2012	0	0	0,00	Syötä käsin
2013	0	0	0,00	Veden ominaisuuksia: tiheys ρ ja ominaislämpö c_p
2014	0	0	0,00	
2015	0	0	0,00	
Keskiarvo	0,00	0,00	0,00	
Käyttöveden käyttö (MWh) (heinä- ja elokuut)				
	heinäkuut	elokuut		
2007	0	0		
2008	0	0		
2009	0	0		
2010	0	0	Tiedot HELENiltä	
2011	0	0	Syötä käsin	
2012	0	0		
2013	0	0		
2014	0	0		
2015	0	0		
Keskiarvo	0,00	0		
Lämmitystarveluku 1980-2015 (Helsinki)				
1981-2010	3878	(Ilmatieteen laitos)		
Vertailuarvona eli normaalivuoden lämmitystarvelukuna käytetään vuosien 1981–2010 keskimääräistä lämmitystarvelukua. (Ilmatieteen laitos)				

Lämpötila °C	Tiheys ρ kg/m ³
0	999,84
5	999,97
10	999,70
15	999,10
20	998,21
25	997,05
30	995,65
35	994,03
40	992,22
45	990,21
50	988,04
55	985,69
60	983,20
65	980,55
70	977,77
75	974,84

Kaukolämmön kulutustiedot syötetään ohjelmaan, jotta saadaan selville kulutuksen keskiarvo

Näiden tietojen pohjalta ohjelma laskee linjasaneerauskohteen uusien lämmönsiirtimien tehot ja tiedot säätöventtiileille. Kuvakaappauksen sivussa näkyy osa taulukosta sisältäen tietoja veden ominaisuuksista – sen arvoja tarvitaan esimerkiksi laskettaessa lämmitysjärjestelmän virtauksia.

(C) Severi Jauhiainen

Aluksi ohjelmaan syötetään joitain perustietoja tarkasteltavasta tilasta

Ohjelma antaa arvion tilan lämpöhäviöistä joka helpottaa lämmönluovutustehon määrittelyä

Ohjelmaa voi käyttää myös yksinkertaisesti lämmitysjärjestelmäs suunnittelussa käytettävien U-arvojen tarkistamiseen – yleisimmät saneerauskohteiden rakennusosien U-arvot on lueteltu ohjelmassa.